Procédés de Fabrication I - IGI
Chapitre 2. Propriétés Mécaniques des Matériaux

24 septembre 2026

Programme de la première partie

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

2.1.1 Généralités

- *Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. C'est le cas :*
  - *du formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,*
  - *du formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage ,*
  - *des procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage),*
  - *. . .*
- *La planification puis l'optimisation des procédés de production cités plus haut est donc essentiellement conditionnée par les **propriétés mécaniques (élastiques et surtout plastiques)** du matériau à usiner.*
- *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

- *Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. C'est le cas :*
  - *du formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,*
  - *du formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage ,*
  - *des procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage),*
  - *. . .*
- *La planification puis l'optimisation des procédés de production cités plus haut est donc essentiellement conditionnée par les **propriétés mécaniques (élastiques et surtout plastiques)** du matériau à usiner.*
- *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

- *Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. C'est le cas :*
  - *du formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,*
  - *du formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage ,*
  - *des procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage),*
  - *. . .*
- *La planification puis l'optimisation des procédés de production cités plus haut est donc essentiellement conditionnée par les* ***propriétés mécaniques (élastiques et surtout plastiques)*** *du matériau à usiner.*
- *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

- *Dans la plupart des procédés, la mise en forme de la matière première est basée sur les déformations plastiques. C'est le cas :*
  - *du formage des métaux : laminage, forgeage, extrusion, étirage,*
  - *du formage des feuilles : pliage, emboutissage, découpage ,*
  - *des procédés de coupe (fraisage, perçage, décolletage),*
  - *. . .*
- *La planification puis l'optimisation des procédés de production cités plus haut est donc essentiellement conditionnée par les* ***propriétés mécaniques (élastiques et surtout plastiques)*** *du matériau à usiner.*
- *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

- *Il s'agit de définir, d'illustrer et de comprendre le lien qu'ont entre elles les principales propriétés élasto-plastiques de la matière :*

Nom	***Symbole***	***Unité***
Le module d'élasticité	E	$[GPa]$
Le coefficient de Poisson	ν	$[-]$
Le coefficient d'écrouissage	n	$[-]$
Le module d'écrouissage	K	$[MPa]$
La limite élastique	R_e	$[MPa]$
La résistance à la traction	R_m	$[MPa]$
Le taux de déformation réel à la rupture	ε_{ult}	$[-]$
La dureté	HB, HV, HK	$[kg/mm^2]$
...	...	...

2.1.2 Objectifs du chapitre

- *Il s'agit de définir, d'illustrer et de comprendre le lien qu'ont entre elles les principales propriétés élasto-plastiques de la matière :*

Nom	***Symbole***	***Unité***
Le module d'élasticité	E	$[GPa]$
Le coefficient de Poisson	ν	$[-]$
Le coefficient d'écrouissage	n	$[-]$
Le module d'écrouissage	K	$[MPa]$
La limite élastique	R_e	$[MPa]$
La résistance à la traction	R_m	$[MPa]$
Le taux de déformation réel à la rupture	ε_{ult}	$[-]$
La dureté	HB, HV, HK	$[kg/mm^2]$
...	...	...

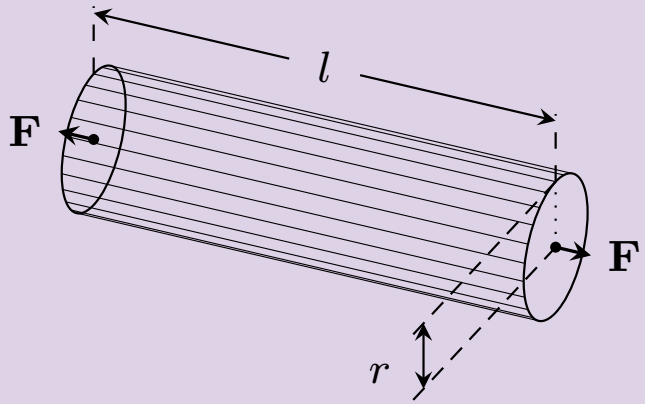
▸ Dictionnaire anglais

2.1.2 Objectifs du chapitre

- *Il s'agit de définir, d'illustrer et de comprendre le lien qu'ont entre elles les principales propriétés élasto-plastiques de la matière :*

Nom	***Symbole***	***Unité***
Le module d'élasticité	E	$[GPa]$
Le coefficient de Poisson	ν	$[-]$
Le coefficient d'écrouissage	n	$[-]$
Le module d'écrouissage	K	$[MPa]$
La limite élastique	R_e	$[MPa]$
La résistance à la traction	R_m	$[MPa]$
Le taux de déformation réel à la rupture	ε_{ult}	$[-]$
La dureté	HB, HV, HK	$[kg/mm^2]$
...	...	...

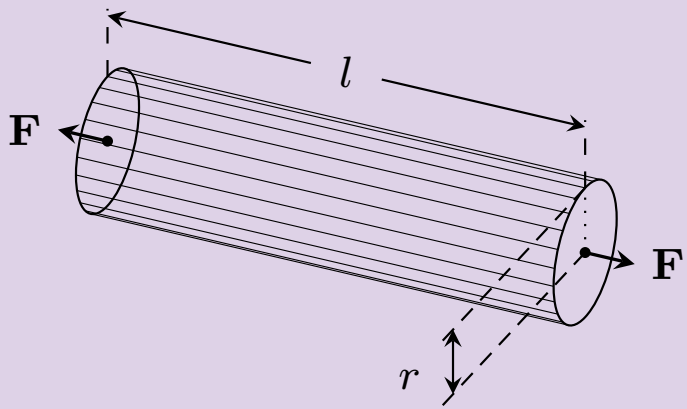
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

$$\sigma = \frac{F}{S} \tag{1}$$

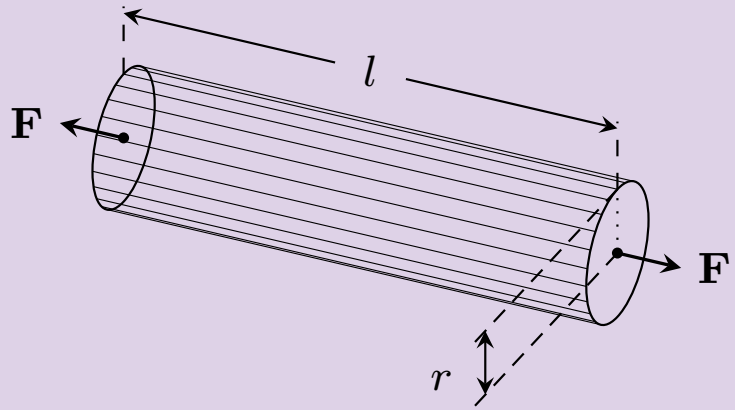
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

$$\sigma = \frac{F}{S} \tag{1}$$

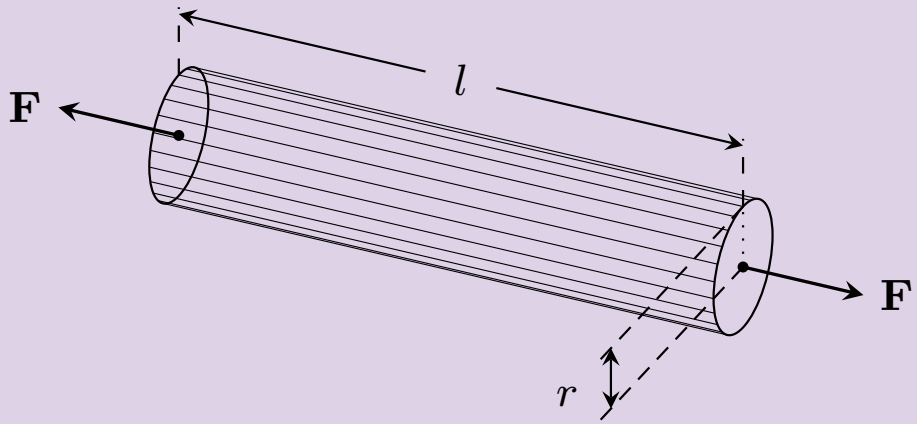
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

$$\sigma = \frac{F}{S} \tag{1}$$

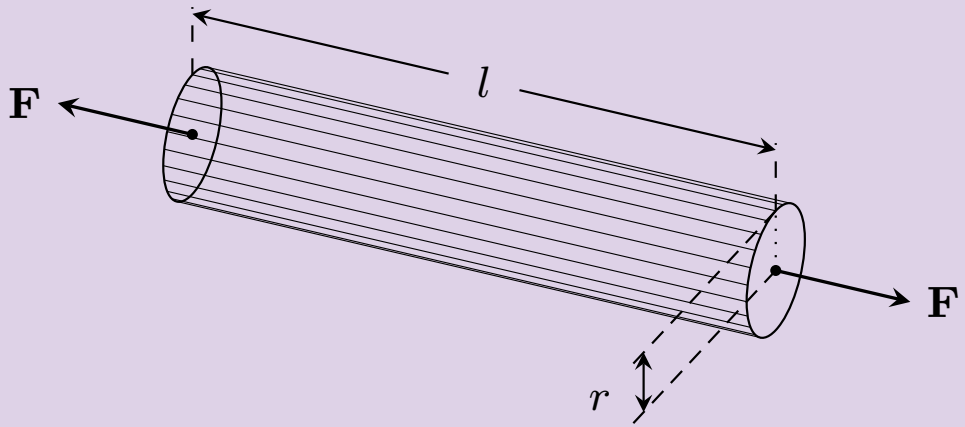
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

$$\sigma = \frac{F}{S} \tag{1}$$

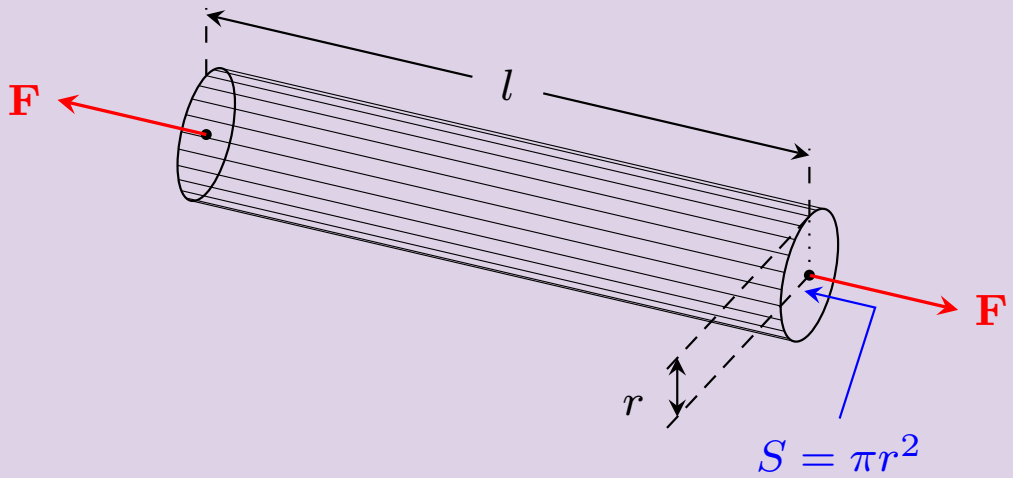
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

$$\sigma = \frac{F}{S} \tag{1}$$

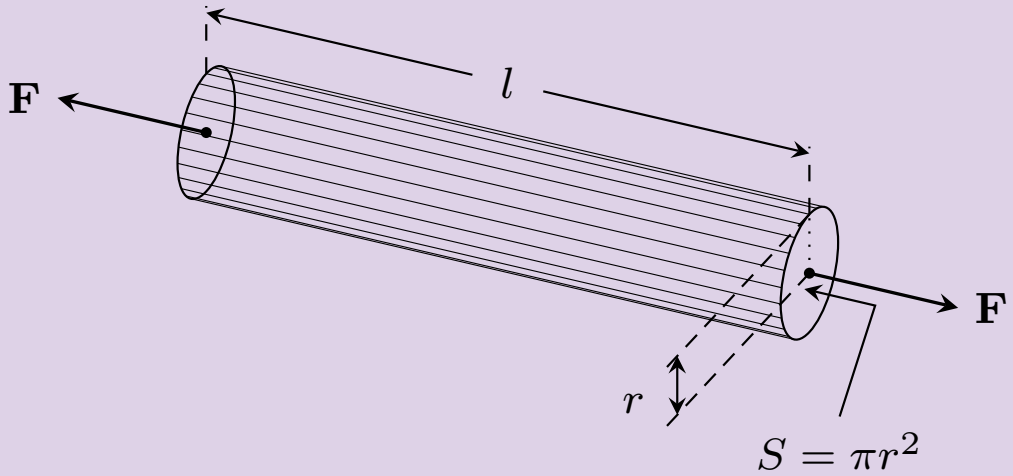
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

$$\sigma = \frac{F}{S} \tag{1}$$

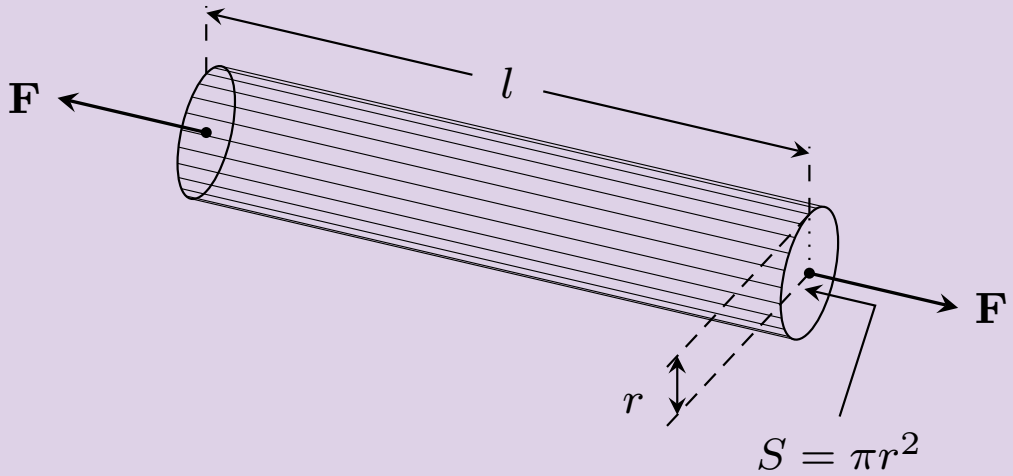
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

$$\sigma = \frac{F}{S} \tag{1}$$

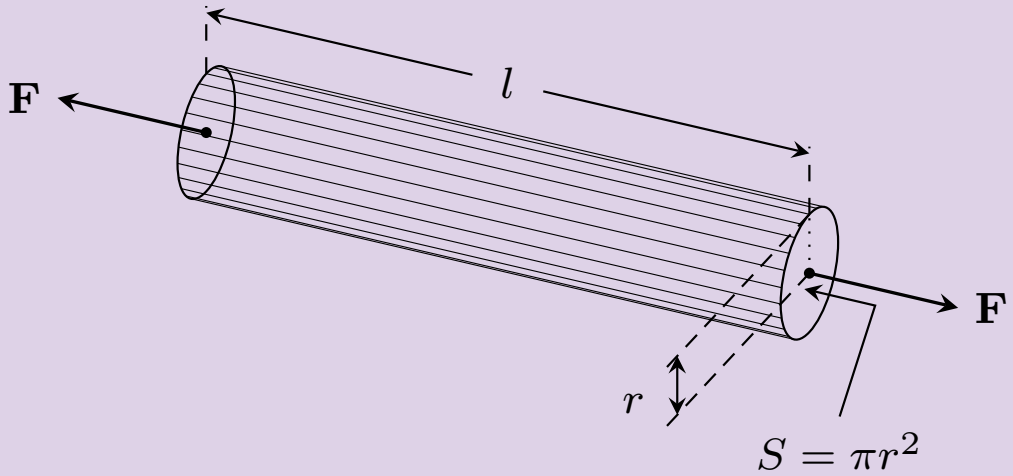
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

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

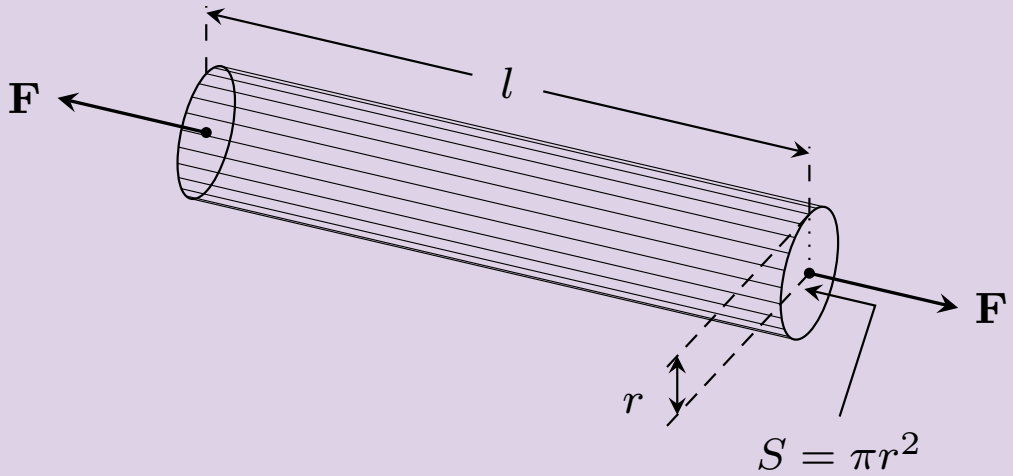
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

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

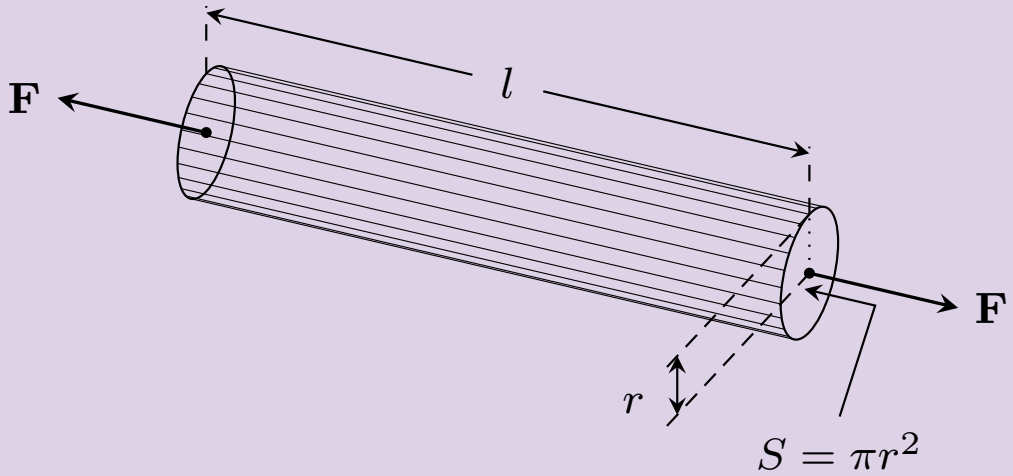
2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle



- *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 σ et appelé contrainte de traction **réelle***

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

2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle

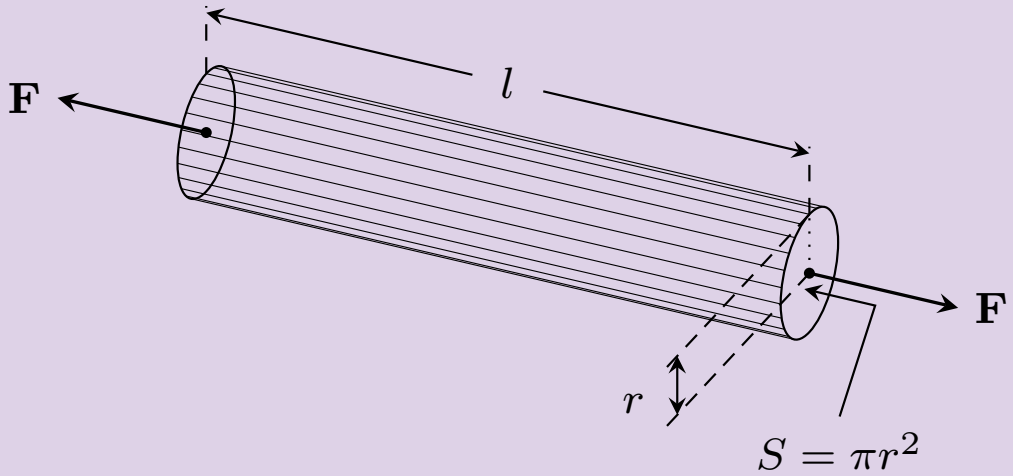


- *Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force F croissante.*
- *La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon. Le rapport entre la force et la section courante en donne une meilleure idée.*
- *Ce rapport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

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

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

2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle

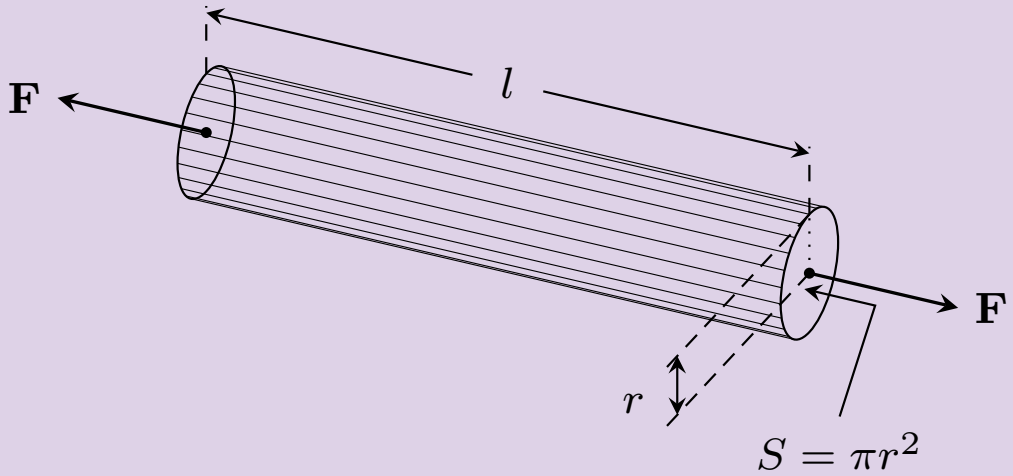


- *Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force F croissante.*
- *La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon. Le rapport entre la force et la section courante en donne une meilleure idée.*
- *Ce rapport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

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \textit{unité :MPa} \tag{1}$$

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

2.2.1 Expérience de traction - contrainte réelle

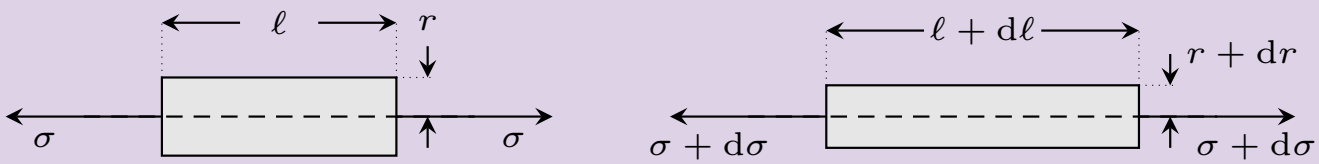


- *Dans une expérience de traction on allonge un échantillon de matière en lui appliquant une force F croissante.*
- *La force n'est pas une bonne mesure de la façon avec laquelle on sollicite l'échantillon. Le rapport entre la force et la section courante en donne une meilleure idée.*
- *Ce rapport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

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \textit{unité :MPa} \tag{1}$$

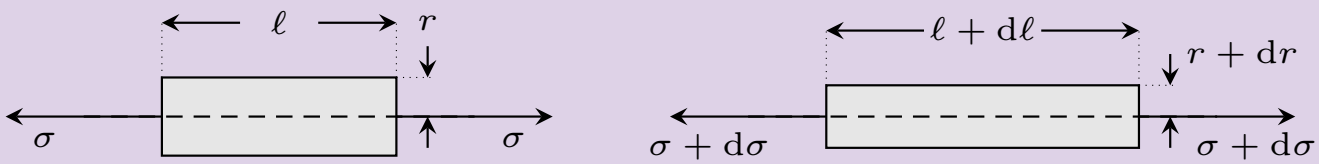
Définition (1) de la contrainte réelle aux Tableaux

2.2.2 Lois infinitésimales



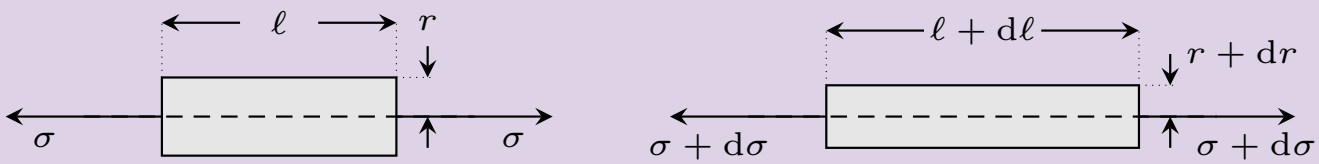
- *Si la contrainte de traction σ augmente d'une quantité infinitésimale $\mathrm{d}\sigma$ la longueur ℓ et le rayon r de l'échantillon varient de $\mathrm{d}\ell$ et respectivement $\mathrm{d}r$.*
- *Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent **élastiques**, les variations relatives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

2.2.2 Lois infinitésimales



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

2.2.2 Lois infinitésimales



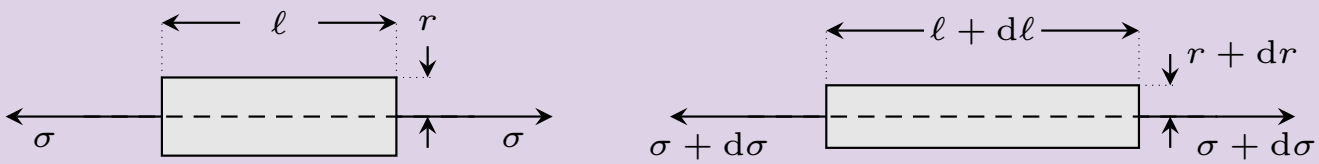
- *Si la contrainte de traction σ augmente d'une quantité infinitésimale $\mathrm{d}\sigma$ la longueur ℓ et le rayon r de l'échantillon varient de $\mathrm{d}\ell$ et respectivement $\mathrm{d}r$.*
- *Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent* ***élastiques****, les variations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

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

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

que veut dire élastique ?

2.2.2 Lois infinitésimales



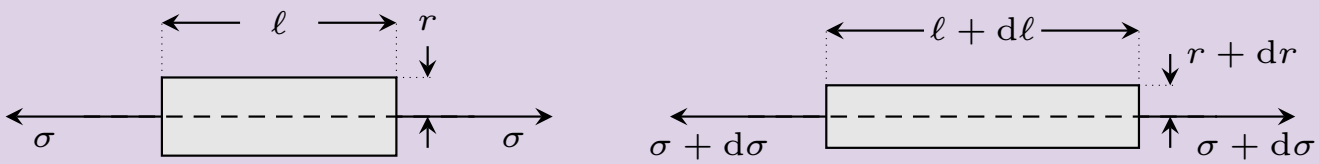
- *Si la contrainte de traction σ augmente d'une quantité infinitésimale $\mathrm{d}\sigma$ la longueur ℓ et le rayon r de l'échantillon varient de $\mathrm{d}\ell$ et respectivement $\mathrm{d}r$.*
- *Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent **élastiques**, les variations relatives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

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

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

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

2.2.2 Lois infinitésimales



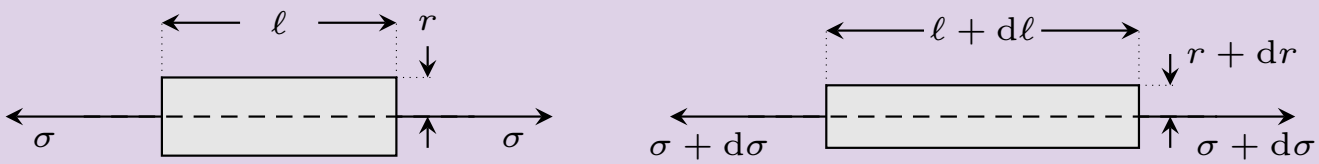
- *Si la contrainte de traction σ augmente d'une quantité infinitésimale $\mathrm{d}\sigma$ la longueur ℓ et le rayon r de l'échantillon varient de $\mathrm{d}\ell$ et respectivement $\mathrm{d}r$.*
- *Hooke et Poisson ont observé que tant que les déformations restent **élastiques**, les variations relatives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

$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke infinitésimale)} \tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{1}{E'}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke-Poisson infinitésimale)}. \tag{3}$$

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

2.2.2 Lois infinitésimales



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

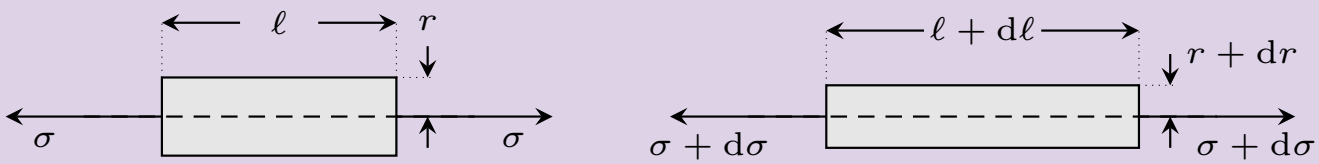
$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke infinitésimale)} \tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{1}{E'}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke-Poisson infinitésimale)}. \tag{3}$$

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

E et E' sont des coefficients de proportionalité. Ils caractérisent le matériau.

2.2.2 Lois infinitésimales



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

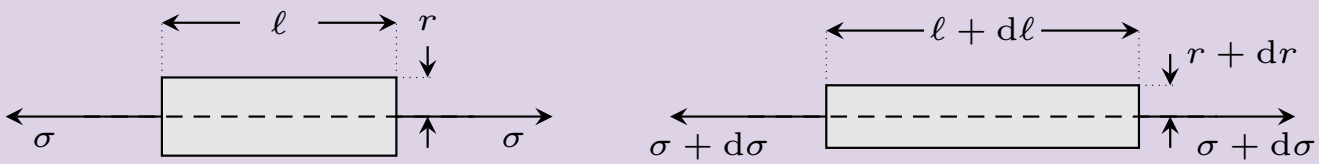
$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke infinitésimale)} \tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{1}{E'}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke-Poisson infinitésimale)}. \tag{3}$$

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.

2.2.2 Lois infinitésimales



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

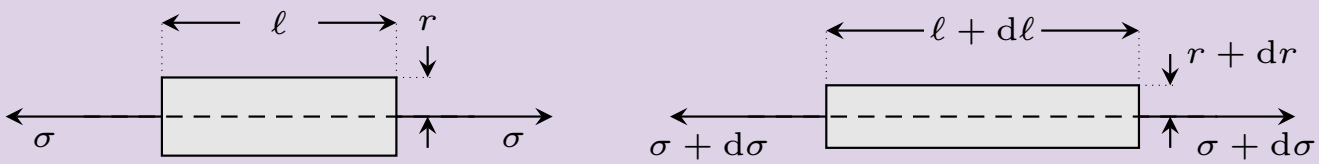
$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \quad \textbf{(Loi de Hooke infinitésimale)} \tag{2}$$

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

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'equation (3), que veut-il dire ?

2.2.2 Lois infinitésimales



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

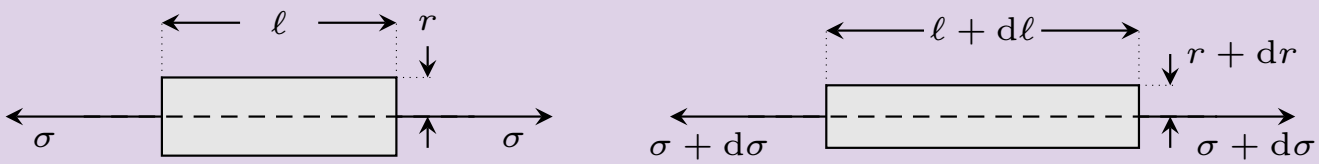
$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke infinitésimale)} \tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{1}{E'}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke-Poisson infinitésimale)}. \tag{3}$$

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'equation (3), que veut-il dire ?

2.2.2 Lois infinitésimales



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

$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke infinitésimale)} \tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{1}{E'}\mathrm{d}\sigma \qquad \textbf{(Loi de Hooke-Poisson infinitésimale)}. \tag{3}$$

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

- *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 :*

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

2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

- *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 ν et appelé coefficient de Poisson :*

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

- *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 :*

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

2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

- *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 ν et appelé* ***coefficient de Poisson*** *:*

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

- *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 :*

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

2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

- *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 ν et appelé* ***coefficient de Poisson*** *:*

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

- *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 :*

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

2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

- *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 ν et appelé* ***coefficient de Poisson*** *:*

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

- *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 :*

$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \quad \text{et} \quad \frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma. \tag{4}$$

Eliminons E' qui n'est pas célèbre

2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

- *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 ν et appelé* ***coefficient de Poisson*** *:*

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

- *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 :*

$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \quad \text{et} \quad \frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma. \tag{4}$$

Eliminons E' qui n'est pas célèbre

2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

- *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 ν et appelé* ***coefficient de Poisson*** *:*

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

- *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 :*

$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \quad \textit{et} \quad \frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma. \tag{4}$$

2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

- *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 ν et appelé* ***coefficient de Poisson*** *:*

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

- *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 :*

$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \quad \textit{et} \quad \frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma. \tag{4}$$

2.2.3 Module d'Young et coefficient de Poisson

- *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 ν et appelé* ***coefficient de Poisson*** *:*

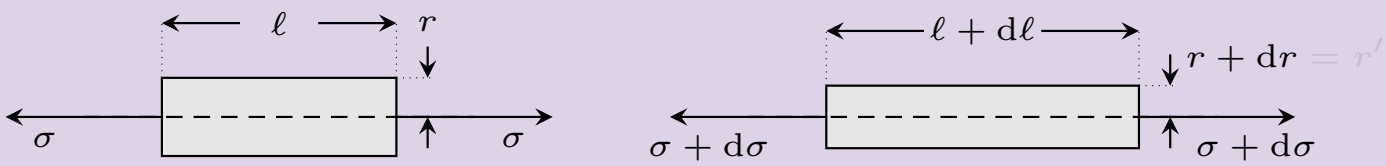
$$\nu = \frac{E}{E'} \Longrightarrow E' = \frac{E}{\nu}.$$

- *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 :*

$$\frac{\mathrm{d}\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \quad \textit{et} \quad \frac{\mathrm{d}r}{r} = -\frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma. \tag{4}$$

Corriger l'équation de Hooke-Poisson infinitésimale aux Tableaux

2.2.4 Episode microscopique



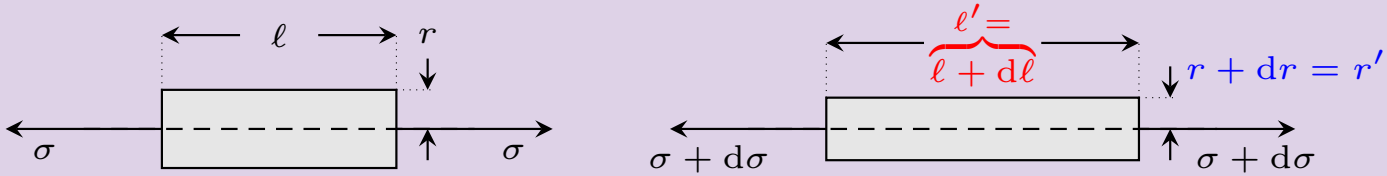
- *L'augmentation* $\mathrm{d}\sigma$ *(très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs* ℓ, r *aux valeurs* ℓ', r' *:*

$$\ell' = \ell + \mathrm{d}\ell$$

$$r' = r + \mathrm{d}r$$

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

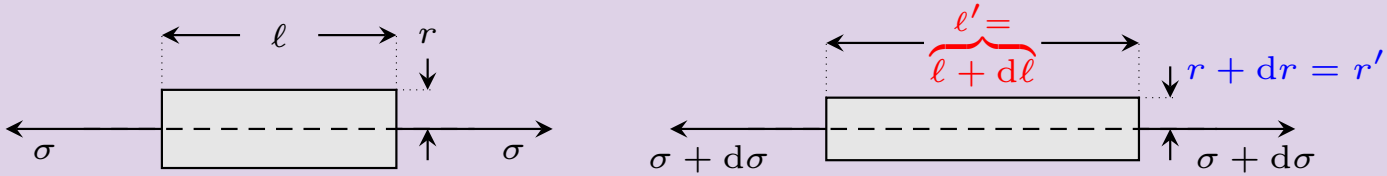
$$\ell' = \ell + \mathrm{d}\ell \quad (1)$$

$$r' = r + \mathrm{d}r \quad (2)$$

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

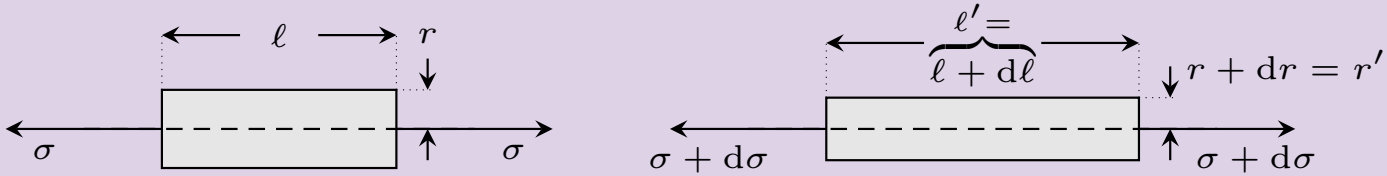
$$\ell' = \ell + \mathrm{d}\ell = \ell \left(1 + \frac{\mathrm{d}\ell}{\ell}\right)$$

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

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

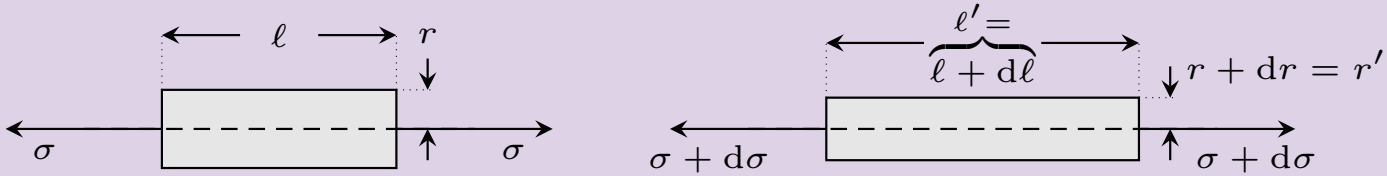
$$\ell' = \ell + \mathrm{d}\ell = \ell\left(1 + \frac{\mathrm{d}\ell}{\ell}\right)$$

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

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

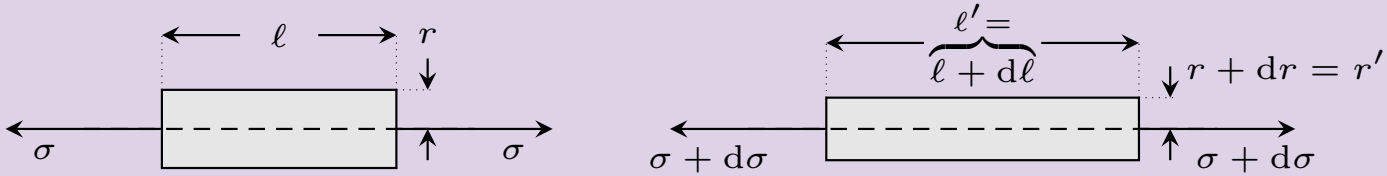
$$\ell' = \ell + \mathrm{d}\ell = \ell\left(1 + \frac{\mathrm{d}\ell}{\ell}\right) = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

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

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

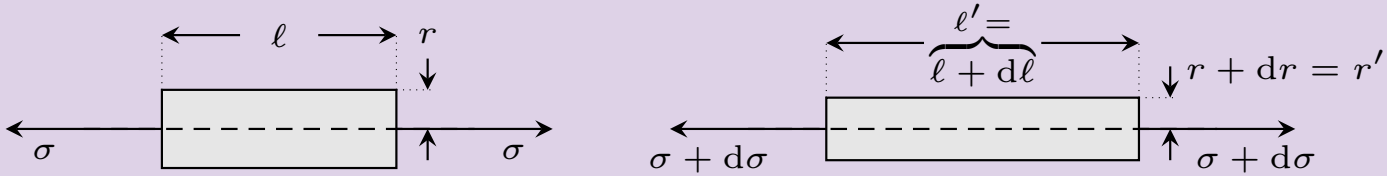
$$\ell' = \ell + \mathrm{d}\ell = \ell\left(1 + \frac{\mathrm{d}\ell}{\ell}\right) = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

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

- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif :* la valeur après est la valeur avant fois un facteur de la forme $1 + \mathrm{d}\sigma \times$ quelque chose.

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

2.2.4 Episode microscopique



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

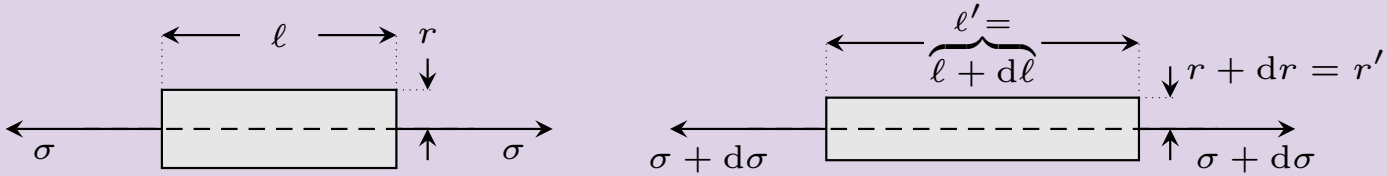
$$\ell' = \ell + \mathrm{d}\ell = \ell\left(1 + \frac{\mathrm{d}\ell}{\ell}\right) = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

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

- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : la valeur après est la valeur avant fois un certain facteur.*

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

2.2.4 Episode microscopique



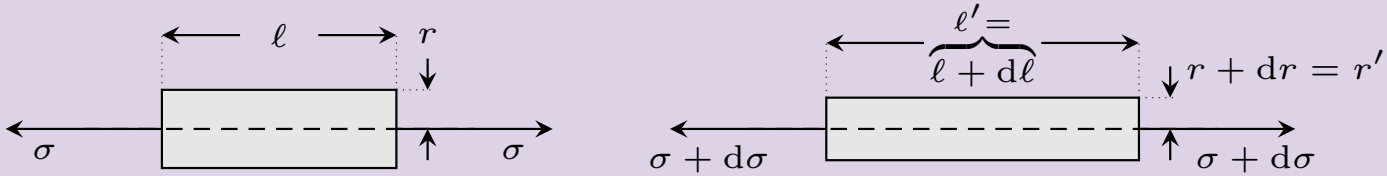
- *L'augmentation* $\mathrm{d}\sigma$ *(très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs* ℓ, r *aux valeurs* ℓ', r' *:*

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

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

- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif :* *la valeur après est la valeur avant* ***fois*** *un certain facteur.*

2.2.4 Episode microscopique



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

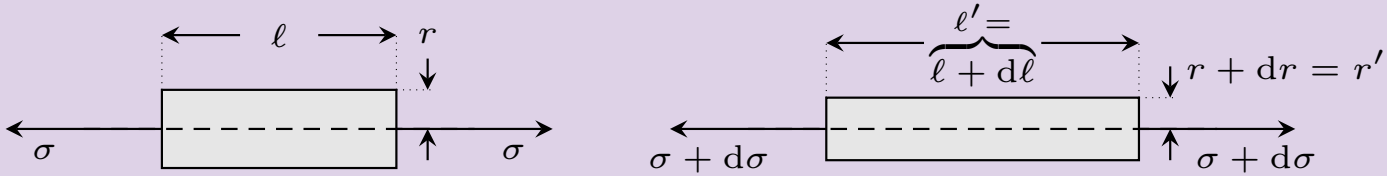
$$\ell' = \ell + \mathrm{d}\ell = \ell\left(1 + \frac{\mathrm{d}\ell}{\ell}\right) = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

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

- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : la valeur après est la valeur avant* ***fois*** *un certain facteur. Un facteur d'amplification* > 1 *pour la longueur*

$$1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \quad \textit{(pr. la longu.)}$$

2.2.4 Episode microscopique



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

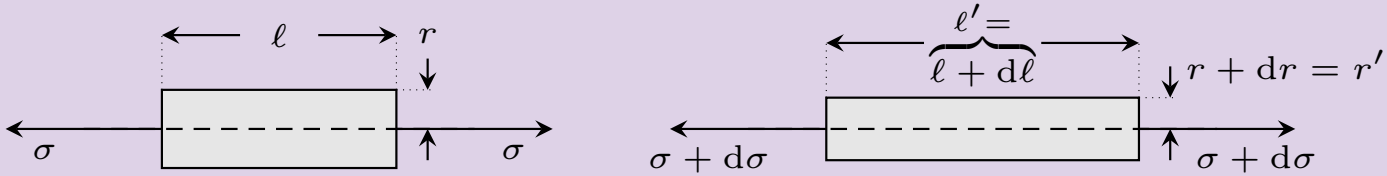
$$\ell' = \ell + \mathrm{d}\ell = \ell\left(1 + \frac{\mathrm{d}\ell}{\ell}\right) = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

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

- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : la valeur après est la valeur avant* ***fois*** *un certain facteur. Un facteur d'amplification* > 1 *pour la longueur*

$$1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma \quad \textit{(pr. la longu.)}$$

2.2.4 Episode microscopique



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

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

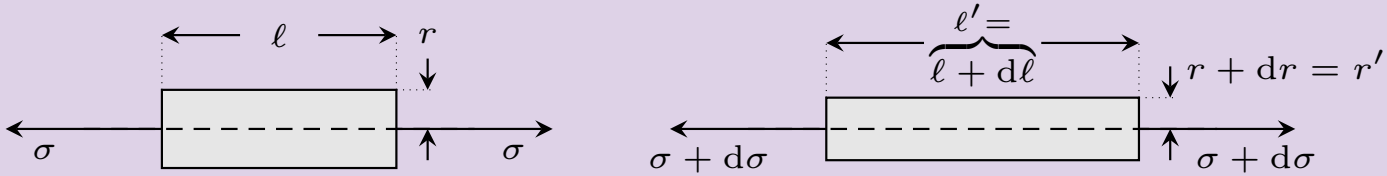
$$r' = r + \mathrm{d}r = r\left(1 + \frac{\mathrm{d}r}{r}\right) = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : la valeur après est la valeur avant* ***fois*** *un certain facteur. Un facteur d'amplification* > 1 *pour la longueur et de réduction* < 1 *pour le rayon :*

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

Pour les deux, cela reste très proche de 1 car les variations sont très petites.

2.2.4 Episode microscopique



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

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

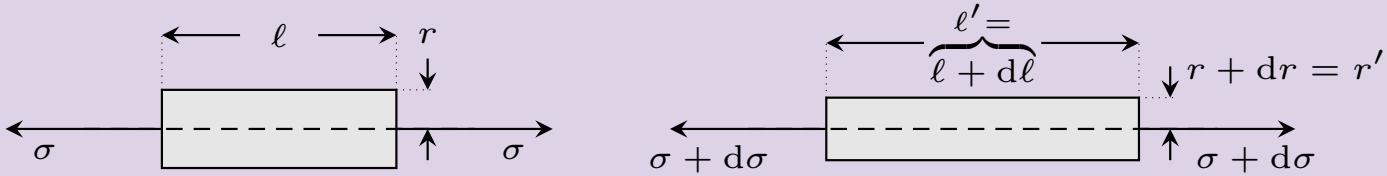
$$r' = r + \mathrm{d}r = r\left(1 + \frac{\mathrm{d}r}{r}\right) = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : la valeur après est la valeur avant* ***fois*** *un certain facteur. Un facteur d'amplification* > 1 *pour la longueur et de réduction* < 1*, pour le rayon :*

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

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

2.2.4 Episode microscopique



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

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

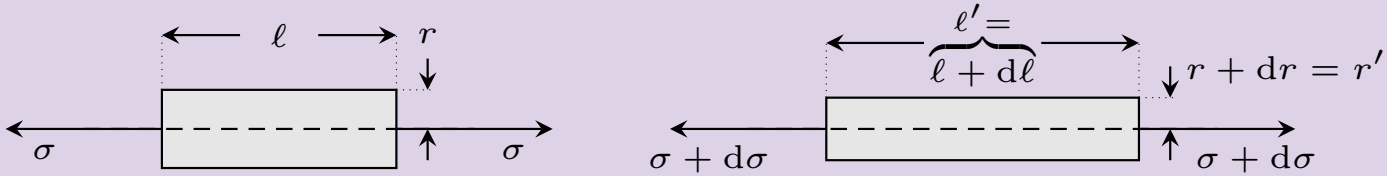
$$r' = r + \mathrm{d}r = r\left(1 + \frac{\mathrm{d}r}{r}\right) = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : la valeur après est la valeur avant* ***fois*** *un certain facteur. Un facteur d'amplification* > 1 *pour la longueur et de réduction* < 1*, pour le rayon :*

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

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

2.2.4 Episode microscopique



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

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

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

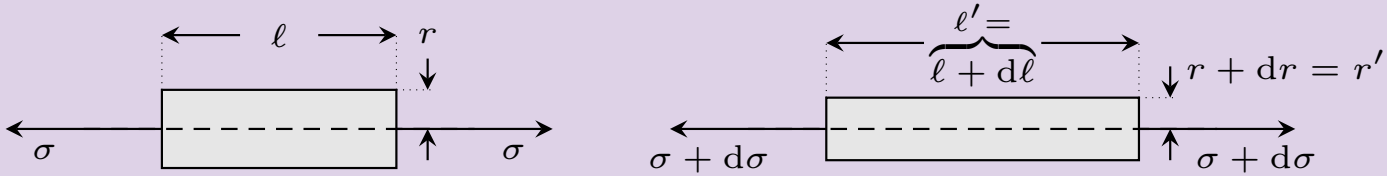
- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : la valeur après est la valeur avant* ***fois*** *un certain facteur. Un facteur d'amplification* > 1 *pour la longueur et de réduction* < 1*, pour le rayon :*

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

Bien sûr, cela 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* $\mathrm{d}\sigma$ *(très petite) de contrainte fait passer la longueur et le rayon de l'échantillon des valeurs* ℓ, r *aux valeurs* ℓ', r' *:*

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

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

- *L'effet d'une très petite augmentation de contrainte sur les longueurs et les rayons est donc multiplicatif : la valeur après est la valeur avant* ***fois*** *un certain facteur. Un facteur d'amplification* > 1 *pour la longueur et de réduction* < 1*, pour le rayon :*

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

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

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

Qu'est-ce qu'une loi additive ?

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*
- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

Qu'est-ce qu'une loi additive ?

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*
- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

Qu'est-ce qu'une loi additive ?

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

Qu'est-ce qu'une loi additive ?

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

Comment transformer un loi multiplicative en loi additive ?

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

Il suffit de prendre le logarithme !

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

Nous avons ici le logarithme d'un produit qui est la somme des logarithmes

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme.*

Nous avons ici le logarithme d'un produit qui est la somme des logarithmes

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté.*

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté.*

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté.*

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté.*

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté.*

Le terme qu'on ajoute est le logarithme de 1 plus quelque chose

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$.*

Ce quelque chose est très petit, quelle simplification cela apporte-t-il ?

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

  *ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*
- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$.*

Ce quelque chose est très petit, quelle simplification cela apporte-t-il ?

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$. En transformant de la même manière la loi de passage de r à r', on trouve :*

Ce quelque chose est très petit, quelle simplification cela apporte-t-il ?

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$. En transformant de la même manière la loi de passage de r à r', on trouve :*

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

Ce quelque chose est très petit, quelle simplification cela apporte-t-il ?

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$. En transformant de la même manière la loi de passage de r à r', on trouve :*

$$\ln r' = \ln r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \ln(1+x) \approx x$$

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$. En transformant de la même manière la loi de passage de r à r', on trouve :*

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

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$. En transformant de la même manière la loi de passage de r à r', on trouve :*

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

Le logarithme d'un produit est la somme des logarithmes

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$. En transformant de la même manière la loi de passage de r à r', on trouve :*

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

Le logarithme d'un produit est la somme des logarithmes

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$. En transformant de la même manière la loi de passage de r à r', on trouve :*

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

Le logarithme de 1 plus quelque chose de petite est environ cette petit chose

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

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

- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$. En transformant de la même manière la loi de passage de r à r', on trouve :*

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

Le logarithme de 1 plus quelque chose de petite est environ cette petit chose

2.2.5 Episode microscopique

- *Les lois **multiplicatives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant fois quelque chose :*

$$\ell' = \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) \qquad \textit{et} \qquad r' = r\left(1 - \frac{\nu}{E}\mathrm{d}\sigma\right)$$

*ne sont pas si pratiques que cela. Des **lois additives** : ce qui vient après est ce qu'il y a avant **plus** quelque chose seraient plus simples à utiliser.*

- *Grâce au logarithme, on transforme une loi multiplicative en une loi additive :*

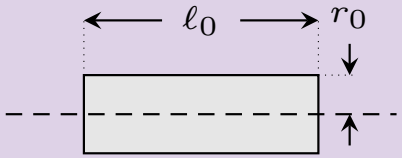
$$\ln \ell' = \ln \ell\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) = \ln \ell + \ln\left(1 + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma\right) = \ln \ell + \frac{1}{E}\mathrm{d}\sigma$$

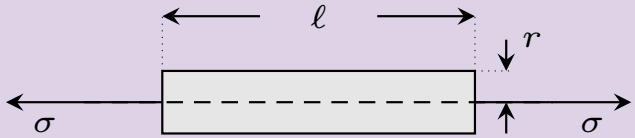
- *Cette loi est bien **additive** : on passe de la valeur avant à la valeur après en ajoutant un terme. Comme $\mathrm{d}\sigma$ est très petit (devant E) on peut simplifier le terme ajouté. Une formule dit en effet que $\ln(1+x) \approx x$ si $x \ll 1$. En transformant de la même manière la loi de passage de r à r', on trouve :*

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

Lois addtives aux Tableaux

2.2.6 Expérience macroscopique





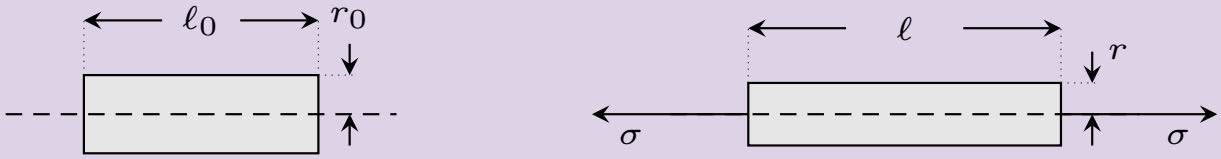
- *La mise en traction macroscopique (σ) d'un échantillon peut être décomposé en une succession de n étapes où la contraite est augmentée de σ/n à chaque fois.*
- *Si n est très très grand, l'accroissement de contrainte σ/n est $\simeq$ microscopique et, s'il est élastique, son effet sur les logarithmes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

$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n}$$

$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n}$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

2.2.6 Expérience macroscopique



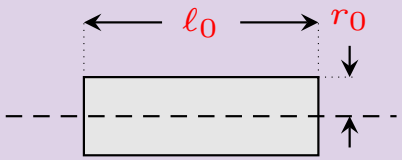
- *La mise en traction macroscopique (σ) d'un échantillon peut être décomposé en une succession de n étapes où la contraite est augmentée de σ/n à chaque fois.*
- *Si n est très très grand, l'accroissement de contrainte σ/n est $\simeq$ microscopique et, s'il est élastique, son effet sur les logarithmes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

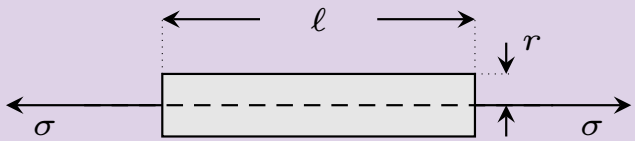
$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n}$$

$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n}$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

2.2.6 Expérience macroscopique





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

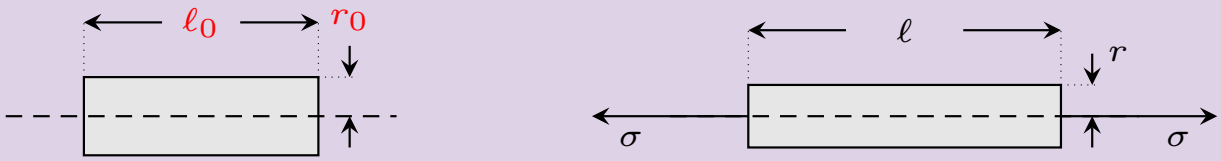
$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n}$$

$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n}$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

Première étape : on ajoute $\frac{1}{E}\frac{\sigma}{n}$ et on retranche $-\frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n}$

2.2.6 Expérience macroscopique



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

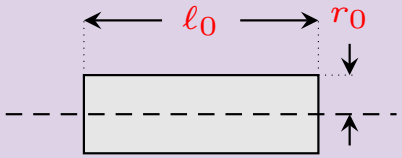
$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n}$$

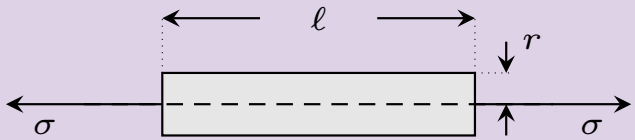
$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n}$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

Seconde étape : on ajoute encore une fois $\frac{1}{E}\frac{\sigma}{n}$ et on retranche $-\frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n}$

2.2.6 Expérience macroscopique





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

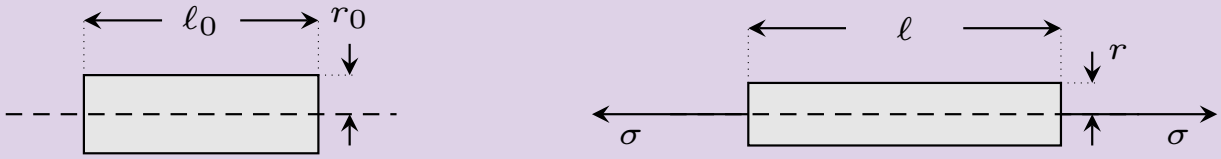
$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n} \ldots$$

$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \ldots$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

Troisième étape : on ajoute encore une fois $\frac{1}{E}\frac{\sigma}{n}$ et on retranche $-\frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n}$

2.2.6 Expérience macroscopique



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

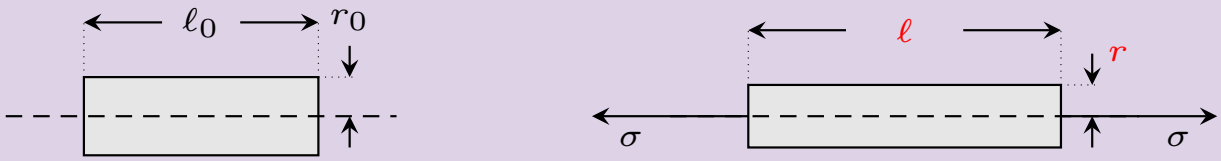
$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{n}{E}\frac{\sigma}{n} \quad \text{et} \quad \ln r = \ln r_0 - \frac{n\nu}{E}\frac{\sigma}{n}$$

2.2.6 Expérience macroscopique



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

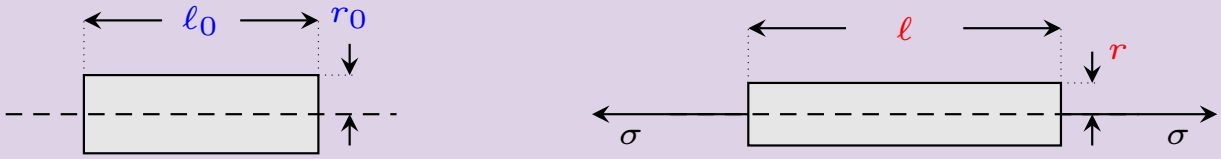
$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{n}{E}\frac{\sigma}{n} \quad \text{et} \quad \ln r = \ln r_0 - \frac{n\nu}{E}\frac{\sigma}{n}$$

2.2.6 Expérience macroscopique



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

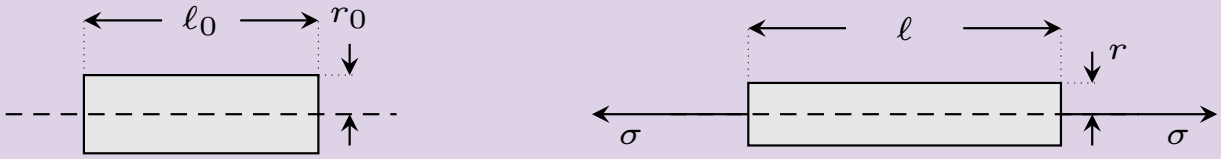
$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{n}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{\sigma}{E} \quad \textit{et} \quad \ln r = \ln r_0 - \frac{n\nu}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \nu\frac{\sigma}{E}$$

2.2.6 Expérience macroscopique



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

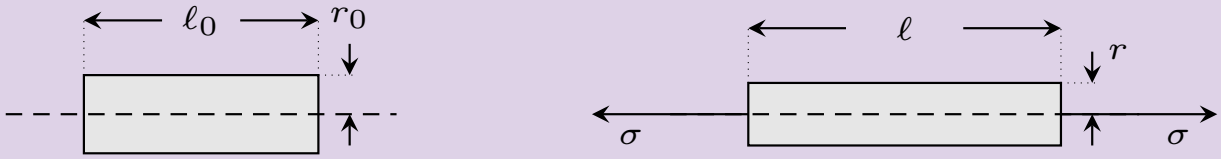
$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{n}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{\sigma}{E} \quad \textit{et} \quad \ln r = \ln r_0 - \frac{n\nu}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \nu\frac{\sigma}{E}$$

2.2.6 Expérience macroscopique



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

$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

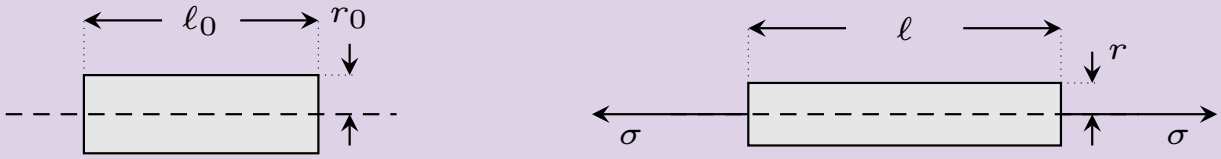
$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{n}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{\sigma}{E} \quad \textit{et} \quad \ln r = \ln r_0 - \frac{n\nu}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \nu\frac{\sigma}{E}$$

Evidemment le nombre n d'étapes se simplifie

2.2.6 Expérience macroscopique



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

$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

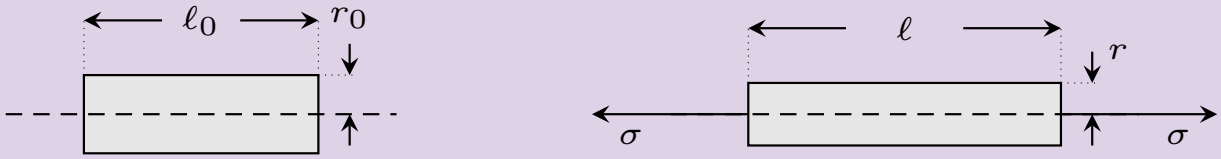
$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{n}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{\sigma}{E} \quad \textit{et} \quad \ln r = \ln r_0 - \frac{n\nu}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \nu\frac{\sigma}{E}$$

Evidemment le nombre n d'étapes se simplifie

2.2.6 Expérience macroscopique



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

$$\ln \ell_0 \to \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{2}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln \ell_0 + \frac{3}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

$$\ln r_0 \to \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{2\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \to \ln r_0 - \frac{3\nu}{E}\frac{\sigma}{n} \dots$$

- *Les logarithmes de la longueur et du rayon finaux au terme des n étapes, seront donc*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{n}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln \ell_0 + \frac{\sigma}{E} \quad \textit{et} \quad \ln r = \ln r_0 - \frac{n\nu}{E}\frac{\sigma}{n} = \ln r_0 - \nu\frac{\sigma}{E}$$

Formules aux Tableaux

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

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

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \quad (6)$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \quad (7)$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

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

Que vaut une différence de logarithmes ? Le logarithme d'un rapport !

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

Que vaut une différence de logarithmes ? Le logarithme d'un rapport !

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \tag{8}$$

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \tag{8}$$

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \Longrightarrow \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \tag{8}$$

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \Longrightarrow \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \tag{8}$$

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \Longrightarrow \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \tag{8}$$

Que vaut une différence de logarithmes ? Le logarithme d'un rapport !

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \Longrightarrow \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \tag{8}$$

Que vaut une différence de logarithmes ? Le logarithme d'un rapport !

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \Longrightarrow \ln \frac{r}{r_0} = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \tag{8}$$

Simplifions par E

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \Longrightarrow \ln \frac{r}{r_0} = -\nu \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{8}$$

Simplifions par E

2.2.7 Expérience macroscopique (fin)

- *Les équations qu'on vient d'obtenir sont :*

$$\ln \ell = \ln \ell_0 + \frac{1}{E}\sigma \tag{5}$$

$$\ln r = \ln r_0 - \frac{\nu}{E}\sigma \tag{6}$$

- *On utilise l'équation (5) pour exprimer σ :*

$$\sigma = E(\ln \ell - \ln \ell_0) = E \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{7}$$

- *On peut ensuite mettre en relation les variations de rayon avec celles de longueur en substituant la valeur (7) de σ dans l'équation (6) :*

$$\ln r - \ln r_0 = -\frac{\nu}{E} E \ln \frac{\ell}{\ell_0} \Longrightarrow \ln \frac{r}{r_0} = -\nu \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{8}$$

⏩ Equations (7) et (8) aux Tableaux

2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

- *Les équations (7) et (8) 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 ε :*

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{9}$$

- *Avec cette notation la formule (7) devient donc*

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \qquad \textbf{(Loi de Hooke)} \tag{10}$$

et la formule (8) :

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

2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

- *Les équations (7) et (8) 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* ε *:*

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{9}$$

- *Avec cette notation la formule (7) devient donc*

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \textit{si}\ 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}} \qquad \textbf{\textit{(Loi de Hooke)}} \tag{10}$$

et la formule (8) :

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

soit en résolvant pour r/r_0 *:*

2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

- *Les équations (7) et (8) 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* ε *:*

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{9}$$

- *Avec cette notation la formule (7) devient donc*

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \qquad \textbf{(Loi de Hooke)} \tag{10}$$

et la formule (8) :

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

soit, en résolvant pour r/r_0 *:*

2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

- *Les équations (7) et (8) 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* ε *:*

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{9}$$

- *Avec cette notation la formule (7) devient donc*

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \textit{si}\ 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}} \qquad \textbf{\textit{(Loi de Hooke)}} \tag{10}$$

et la formule (8) :

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

soit, en résolvant pour r/r_0 *:*

$$\frac{r}{r_0} = \mathrm{e}^{-\nu\varepsilon}, \textit{si}\ 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}. \qquad \textit{(Loi de Poisson)} \tag{11}$$

2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

- *Les équations (7) et (8) 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* ε *:*

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{9}$$

- *Avec cette notation la formule (7) devient donc*

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \textit{si}\ 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}} \qquad \textbf{\textit{(Loi de Hooke)}} \tag{10}$$

et la formule (8) :

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

soit, en résolvant pour r/r_0 *:*

$$\frac{r}{r_0} = \mathrm{e}^{-\nu\varepsilon}, \textit{ si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}. \qquad \textbf{\textit{(Loi de Poisson)}} \tag{11}$$

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

2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

- *Les équations (7) et (8) 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* ε *:*

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{9}$$

- *Avec cette notation la formule (7) devient donc*

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \textit{si}\ 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}} \qquad \textbf{\textit{(Loi de Hooke)}} \tag{10}$$

et la formule (8) :

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

soit, en résolvant pour r/r_0 *:*

$$\frac{r}{r_0} = \mathrm{e}^{-\nu\varepsilon}, \textit{si}\ 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}. \qquad \textbf{\textit{(Loi de Poisson)}} \tag{11}$$

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

2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

- *Les équations (7) et (8) 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* ε *:*

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{9}$$

- *Avec cette notation la formule (7) devient donc*

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \textit{si}\ 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}} \qquad \textbf{\textit{(Loi de Hooke)}} \tag{10}$$

et la formule (8) :

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

soit, en résolvant pour r/r_0 *:*

$$\frac{r}{r_0} = \mathrm{e}^{-\nu\varepsilon}, \textit{si}\ 0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}. \qquad \textbf{\textit{(Loi de Poisson)}} \tag{11}$$

Pourquoi ai-je précisé un intervalle de validité ?

2.2.8 Lois de Hooke et de Poisson

- *Les équations (7) et (8) 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* ε *:*

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0}. \tag{9}$$

- *Avec cette notation la formule (7) devient donc*

$$\sigma = E\varepsilon, \quad \text{si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e \qquad \textbf{(Loi de Hooke)} \tag{10}$$

et la formule (8) :

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

soit, en résolvant pour r/r_0 *:*

$$\frac{r}{r_0} = \mathrm{e}^{-\nu\varepsilon}, \text{ si } 0 < \varepsilon < \varepsilon_e. \qquad \textbf{(Loi de Poisson)} \tag{11}$$

⏩ Lois de Hooke et de Poisson aux Tableaux

2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

- *On prendra note que les lois de Hooke (10) et de Poisson (11) ne sont valables que si*

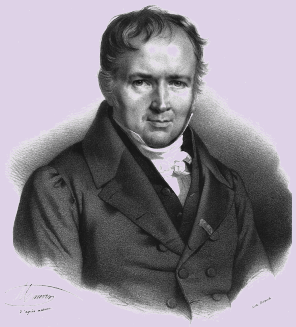
$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e$$

*où ε_e est le taux réel en deça 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 ε_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

- *On prendra note que les lois de Hooke (10) et de Poisson (11) ne sont valables que si*

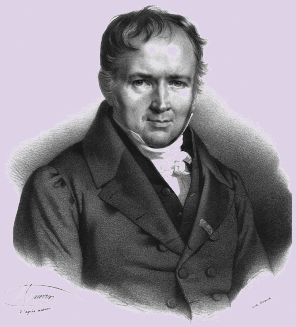
$$0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}$$

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

- *On appelle ε_{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

- *On prendra note que les lois de Hooke (10) et de Poisson (11) ne sont valables que si*

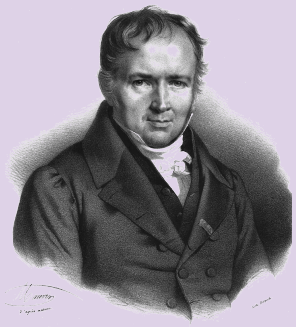
$$0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}$$

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

- *On appelle ε_{e} taux de déformation réel en limite élastique. Cette quantité est une caractéristique du matériau dont est fait l'échantillon mais pas seulement.*



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840



Robert Hooke, 1635-1703

2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

- *On prendra note que les lois de Hooke (10) et de Poisson (11) ne sont valables que si*

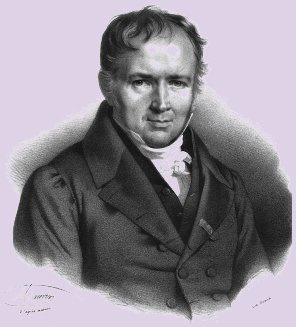
$$0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}$$

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

- *On appelle ε_{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.*



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840



Robert Hooke, 1635-1703

2.2.9 Taux de déformation réel en limite élastique

- *On prendra note que les lois de Hooke (10) et de Poisson (11) ne sont valables que si*

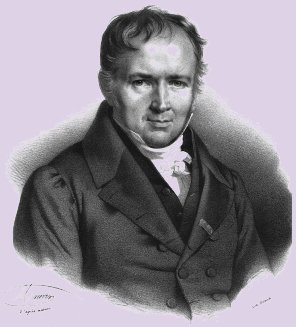
$$0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}$$

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

- *On appelle ε_{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 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

- *On prendra note que les lois de Hooke (10) et de Poisson (11) ne sont valables que si*

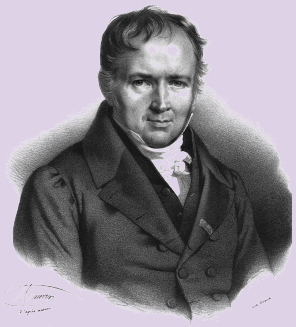
$$0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}$$

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

- *On appelle ε_{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 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

- *On prendra note que les lois de Hooke (10) et de Poisson (11) ne sont valables que si*

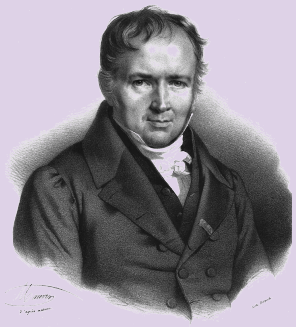
$$0 < \varepsilon < \varepsilon_{\mathrm{e}}$$

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

- *On appelle ε_{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 dont nous parlerons plus tard.*



Thomas Young, 1773-1829



Siméon Poisson, 1781-1840



Robert Hooke, 1635-1703

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε ;*
- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : il est aussi possible d'obtenir celui des volumes ;*
- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*

- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2,\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}} \qquad (12)$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*

- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

Comment l/l_0 est-il lié à ε ?

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathrm{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*

- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*

- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*

- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson.*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_e$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

$$r = r_0\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon},\ S = S_0\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$$

*ces relations confirment, que ε est une mesure **efficace** de la déformation.*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

$$r = r_0\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon},\ S = S_0\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}\ \text{et}\ V = V_0\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$$

*ces relations confirment, que ε est une mesure **efficace** de la déformation.*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

$$r = r_0\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon},\ S = S_0\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon} \quad \text{et} \quad V = V_0\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$$

*ces relations confirment, que ε est une mesure **efficace** de la déformation.*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

$$r = r_0\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon},\ S = S_0\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon} \quad \textit{et} \quad V = V_0\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$$

*ces relations confirment, que ε est une mesure **efficace** de la déformation.*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

$$r = r_0\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon},\ S = S_0\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon} \quad \textit{et} \quad V = V_0\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$$

*ces relations confirment, que ε est une mesure **efficace** de la déformation.*

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

$$r = r_0\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon},\ S = S_0\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon} \quad \textit{et} \quad V = V_0\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$$

*ces relations confirment, que ε est une mesure **efficace** de la déformation.*

Notons que cette mise à jour dépend d'une propriété du matériau : son coefficient de Poisson ν

2.2.10 Lois de Poisson - section et volume

- *La loi de Poisson (11) donne le rapport des rayons en fonction du taux de déformation réel :*

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

- *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 ε : $l/l_0 = \mathbf{e}^{\varepsilon}$, on peut trouver le rapport des volumes :*

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{12}$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{S}{S_0}\frac{l}{l_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon},\ 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}. \tag{13}$$

- *C'est en fait les trois relations (11)-(13) ensemble qu'on appelle lois de Poisson. On soulignera encore que leur domaine de validité est celui de l'élasticité ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e}}$).*
- *Puisqu'elles permettent une mise à jour de toutes les caractéristiques géométriques de la pièce en fonction du taux de déformation réel ε :*

$$r = r_0\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon},\ S = S_0\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon} \quad \textit{et} \quad V = V_0\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$$

*ces relations confirment, que ε est une mesure **efficace** de la déformation.*

⏩ Lois de Poisson (11)-(13) aux Tableaux

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément.* *Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

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

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

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

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

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

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

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

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

- *Si $\nu = \frac{1}{2}$, le volume reste cst. ($V = V_0$), l'échantillon est dit **incompressible**.*
- *Notons que ν n'est pas forcément positif. Il existe des matériaux auxétiques (coefficient de Poisson négatif) qui s'allongent lorsqu'on les étire.*

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

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

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

- *Si $\nu = \frac{1}{2}$, le volume reste cst. ($V = V_0$), l'échantillon est dit **incompressible**.*
- *Notons que ν n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson $\nu < 0$ (matériaux auxétique), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (11) :*

$$\frac{V}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon} > 1 \text{ si } \varepsilon > 0.$$

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

- *Si $\nu = \frac{1}{2}$, le volume reste cst. ($V = V_0$), l'échantillon est dit **incompressible**.*
- *Notons que ν n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson $\nu < 0$ (matériaux auxétique), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (11) :*

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

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

- *Si $\nu = \frac{1}{2}$, le volume reste cst. ($V = V_0$), l'échantillon est dit **incompressible**.*
- *Notons que ν n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson $\nu < 0$ (matériaux auxétique), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (11) :*

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

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

- *Si $\nu = \frac{1}{2}$, le volume reste cst. ($V = V_0$), l'échantillon est dit **incompressible**.*
- *Notons que ν n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson $\nu < 0$ (matériaux auxétique), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (11) :*

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

⏩ Film playAuxetics

2.2.11 Contrainte sur le coefficient de Poisson

- *Lors de l'expérience de traction, longueur et volume augmentent simultanément. Cette remarque contraint les valeurs possibles du coefficient de Poisson ν intervenant dans la loi (13) :*

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

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

$$\nu \leq 0.5 \tag{14}$$

- *Si $\nu = \frac{1}{2}$, le volume reste cst. ($V = V_0$), l'échantillon est dit **incompressible**.*
- *Notons que ν n'est pas forcément positif. Il existe des (méta-)matériaux à coefficient de Poisson $\nu < 0$ (matériaux auxétique), ceux là augmentent de rayon durant l'expérience de traction (11) :*

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

▸ Exo 2, série 2 : coefficient de Poisson

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation.*
  On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :

$$e = \frac{l - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon$$

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon$$

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

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

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

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 réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

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

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textit{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

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 réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

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

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textit{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel* $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ *n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

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

donc $\varepsilon \approx e$, *si* $e < 0.05$ *car* $\ln(1+e) \approx e$ *si* e *est très petit (théorie de Taylor).*

- *Si* e *est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke* $\sigma = E\varepsilon$ *par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

Reprenons la définition du taux réel

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel* $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ *n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

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

donc $\varepsilon \approx e$*, si* $e < 0.05$ *car* $\ln(1+e) \approx e$ *si* e *est très petit (théorie de Taylor).*

- *Si* e *est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke* $\sigma = E\varepsilon$ *par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

Reprenons la définition du taux réel

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln\left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textit{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln\left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

Faisons intervenir ℓ_0 au numérateur sans changer sa valeur

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

Faisons intervenir ℓ_0 au numérateur sans changer sa valeur

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

Distribuons la division par ℓ_0

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \right) = \ln(1+e)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

Distribuons la division par ℓ_0

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right) = \ln(1+e)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right) = \ln(1+e)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

Reconnaissons le taux de déformation nominal

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \right) = \ln(1 + e)$$

- *donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).*
- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

Reconnaissons le taux de déformation nominal

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \right) = \ln(1 + e)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1 + e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right) = \ln(1+e)$$

donc $\varepsilon \approx e$, si $e < 0.05$ car $\ln(1+e) \approx e$ si e est très petit (théorie de Taylor).

- *Si e est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

Mais cette approximation ne sera plus valable pour les [illegible] de nos références.

▸ Que vaut $\ln(1+e)$ si e est petit

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel* $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ *n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right) = \ln(1+e)$$

donc $\varepsilon \approx e$, *si* $e < 0.05$ *car* $\ln(1+e) \approx e$ *si* e *est très petit (théorie de Taylor).*

- *Si* e *est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke* $\sigma = E\varepsilon$ *par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{(loi de Hooke linéarisée)} \tag{16}$$

- *Mais cette approximation ne se justifie plus dans le cas des grandes déformations* $e \gtrsim 0.05$ *(cf exos).*

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel* $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ *n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \right) = \ln(1 + e)$$

donc $\varepsilon \approx e,$ *si* $e < 0.05$ *car* $\ln(1 + e) \approx e$ *si* e *est très petit (théorie de Taylor).*

- *Si* e *est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke* $\sigma = E\varepsilon$ *par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{\textit{(loi de Hooke linéarisée)}} \tag{16}$$

Mais cette approximation ne se justifie plus dans le cas des grandes déformations $e \gg 0.05$ *(cf exos).*

2.2.12 Une mesure alternative de la déformation

- *Le taux de déformation réel* $\varepsilon = \ln \frac{l}{\ell_0}$ *n'est pas la seule façon de mesurer la déformation. On peut aussi utiliser le taux de déformation nominal que vous connaissez sans doute :*

$$e = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} \tag{15}$$

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

$$\varepsilon = \ln \frac{\ell}{\ell_0} = \ln \frac{\ell_0 + \ell - \ell_0}{\ell_0} = \ln \left(1 + \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0}\right) = \ln(1+e)$$

donc $\varepsilon \approx e,$ *si* $e < 0.05$ *car* $\ln(1+e) \approx e$ *si* e *est très petit (théorie de Taylor).*

- *Si* e *est petit on peut donc remplacer la loi de Hooke* $\sigma = E\varepsilon$ *par*

$$\sigma = Ee \quad \textbf{\textit{(loi de Hooke linéarisée)}} \tag{16}$$

Mais cette approximation ne se justifie plus dans le cas des grandes déformations $e \gg 0.05$ *(cf exos).*

⏩ Exos 1, série 1

2.3.1 Exemple de loi d'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)***.
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit toujours être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique.*
- *Le module d'écrouissage K est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en $\varepsilon = \varepsilon_e$*

2.3.1 Exemple de loi d'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)****.*
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit* ***toujours*** *être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique. Dans le comportement élastique linéaire isotrope, les matériaux écrouissent peu et on utilise généralement des lois*
- *Le module d'écrouissage K est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en $\varepsilon = \varepsilon_e$*

2.3.1 Exemple de loi d'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)***.
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit* ***toujours*** *être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique. Mais le comportement plastique de tout une classe de matériaux recuits est bien décrit par une loi d'écrouissage de la forme :*

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

- *où n est le coefficient d'écrouissage et K le module d'écrouissage, unité : $[K] =$ GPa.*
- *Le module d'écrouissage K est ajustée pour que les lois de Hooke et de Ludwik coïncident en $\varepsilon = \varepsilon_e$*

2.3.1 Exemple de loi d'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)***.
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit* ***toujours*** *être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique. Mais le comportement plastique de tout une classe de matériaux* ***recuits*** *est bien décrit par une loi d'écrouissage de la forme :*

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

où n est le ***coefficient d'écrouissage*** *et K le module d'écrouissage,* ***unité :*** *$[K] = GPa$.*

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

2.3.1 Exemple de loi d'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)***.
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit* ***toujours*** *être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique. Mais le comportement plastique de tout une classe de matériaux* ***recuits*** *est bien décrit par une loi d'écrouissage de la forme :*

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_\mathrm{e} \quad \textbf{\textit{(Ludwik)}}$$

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

- *Le module d'écrouissage 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'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)***.
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit* ***toujours*** *être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique. Mais le comportement plastique de tout une classe de matériaux* ***recuits*** *est bien décrit par une loi d'écrouissage de la forme :*

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_\mathrm{e} \quad \textbf{(Ludwik)}$$

où n est le ***coefficient d'écrouissage*** *et K le module d'écrouissage,* ***unité :*** *$[K] = GPa$.*

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

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}$$ (17)

2.3.1 Exemple de loi d'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)***.
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit* ***toujours*** *être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique. Mais le comportement plastique de tout une classe de matériaux* ***recuits*** *est bien décrit par une loi d'écrouissage de la forme :*

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_\mathrm{e} \quad \textbf{\textit{(Ludwik)}}$$

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

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

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}. \tag{17}$$

Tableau 3

2.3.1 Exemple de loi d'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)****.*
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit* ***toujours*** *être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique. Mais le comportement plastique de tout une classe de matériaux* ***recuits*** *est bien décrit par une loi d'écrouissage de la forme :*

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_\mathrm{e} \quad \textbf{(Ludwik)}$$

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

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

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}. \tag{17}$$

2.3.1 Exemple de loi d'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)***.
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit* ***toujours*** *être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique. Mais le comportement plastique de tout une classe de matériaux* ***recuits*** *est bien décrit par une loi d'écrouissage de la forme :*

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_\mathrm{e} \quad \textbf{\textit{(Ludwik)}}$$

où n est le ***coefficient d'écrouissage*** *et K le module d'écrouissage,* ***unité :*** *$[K] = GPa$.*

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

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}. \tag{17}$$

⏩ Elimination du module d'écrouissage aux tableaux

2.3.1 Exemple de loi d'écrouissage - Loi de Ludwik

- *La loi de Hooke $\sigma = E\varepsilon$ n'est plus valable si ε excède ε_e* ***(plasticité)****.*
- *Dans la zone plastique, c'est une loi appelée* ***loi d'écrouissage*** *qui va donner le rapport entre σ et ε. Pour des raisons thermodynamiques, une loi d'écrouissage doit* ***toujours*** *être croissante :*

$$\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\varepsilon} > 0$$

- *Il existe de nombreux type de lois d'écrouissage qui dépendent du matériau et de son histoire thermomécanique. Mais le comportement plastique de tout une classe de matériaux* ***recuits*** *est bien décrit par une loi d'écrouissage de la forme :*

$$\sigma = K\varepsilon^n, \quad \varepsilon \geq \varepsilon_\mathrm{e} \quad \textbf{\textit{(Ludwik)}}$$

où n est le ***coefficient d'écrouissage*** *et K le module d'écrouissage,* ***unité :*** *$[K] = GPa$.*

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

$$K = E\varepsilon_e^{1-n}. \tag{17}$$

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *Le cas limite $n = 0$ correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**.*
- *Pour les matériaux réels, $n > 0$ et la contrainte σ croît avec ε.*
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *Le cas limite $n = 0$ correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**.*
- *Pour les matériaux réels, $n > 0$ et la contrainte σ croît avec ε.*
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

▸ Valeurs possibles de n

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *Le cas limite $n = 0$ correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**.*
- *Pour les matériaux réels, $n > 0$ et la contrainte σ croît avec ε.*
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *Le cas limite $n = 0$ correspond à un matériau au comportement **plastique idéal**.*
- *Pour les matériaux réels, $n > 0$ et la contrainte σ croît avec ε.*
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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*
- *Pour les matériaux réels, $n > 0$ et la contrainte σ croît avec ε.*
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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 σ croît avec ε.*
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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 σ croît avec ε.*
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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 σ croît avec ε. Si $n \simeq 1$, plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler*
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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 σ croît avec ε. Si $n \simeq 1$, plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler **(écrouissage par augmentation de la densité de dislocations)***
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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 σ croît avec ε. Si $n \simeq 1$, plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler **(écrouissage par augmentation de la densité de dislocations)***

$$n_{cuivre} \simeq 1.$$

- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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 σ croît avec ε. Si $n \simeq 1$, plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler **(écrouissage par augmentation de la densité de dislocations)***

$$n_{cuivre} \simeq 1.$$

- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

▸ Valeurs de n pour différents matériaux

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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 σ croît avec ε. Si $n \simeq 1$, plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler **(écrouissage par augmentation de la densité de dislocations)***

$$n_{cuivre} \simeq 1.$$

- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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 σ croît avec ε. Si $n \simeq 1$, plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler **(écrouissage par augmentation de la densité de dislocations)***

$$n_{cuivre} \simeq 1.$$

- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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 σ croît avec ε. Si $n \simeq 1$, plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler **(écrouissage par augmentation de la densité de dislocations)***

$$n_{cuivre} \simeq 1.$$

- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

▸ Utilisation du taux nominal à la place du taux réel

2.3.2 Bornes pour le coefficient d'écrouissage

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

$$0 < n < 1.$$

- *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*

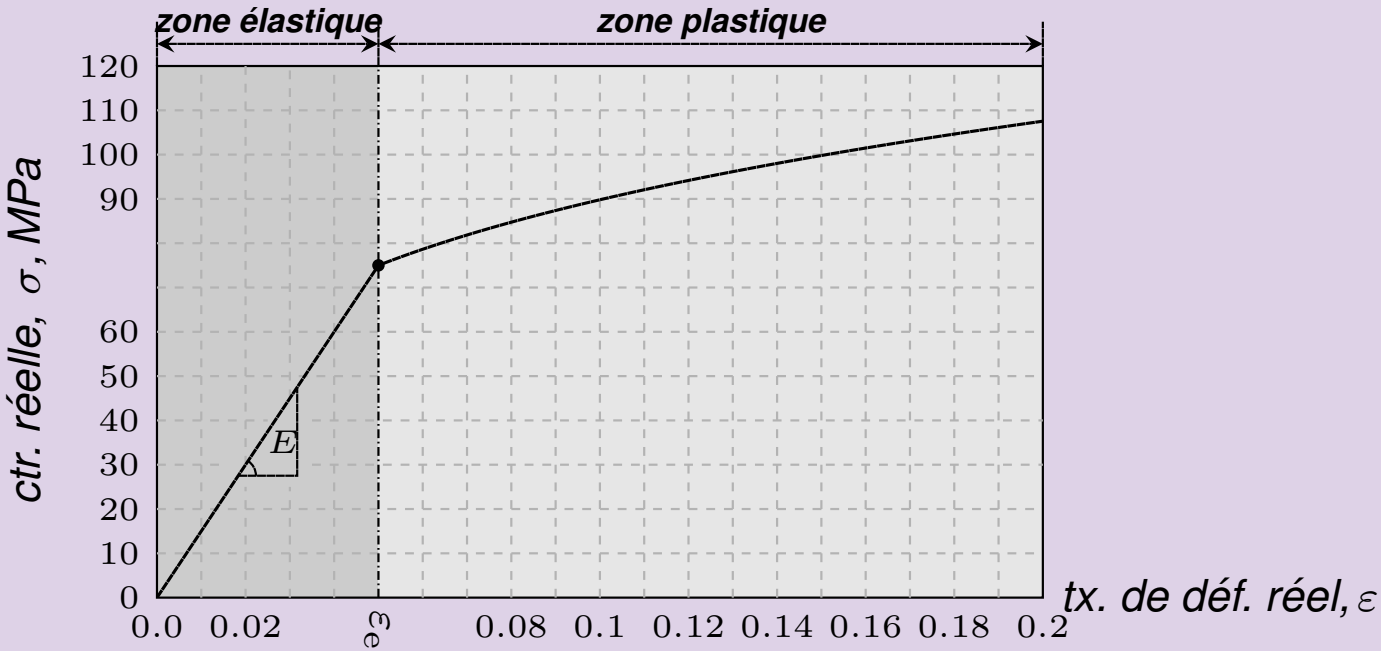
$$n_{or} \simeq 0.$$

- *Pour les matériaux réels, $n > 0$ et la contrainte σ croît avec ε. Si $n \simeq 1$, plus on le déforme plus le matériau est dur à travailler **(écrouissage par augmentation de la densité de dislocations)***

$$n_{cuivre} \simeq 1.$$

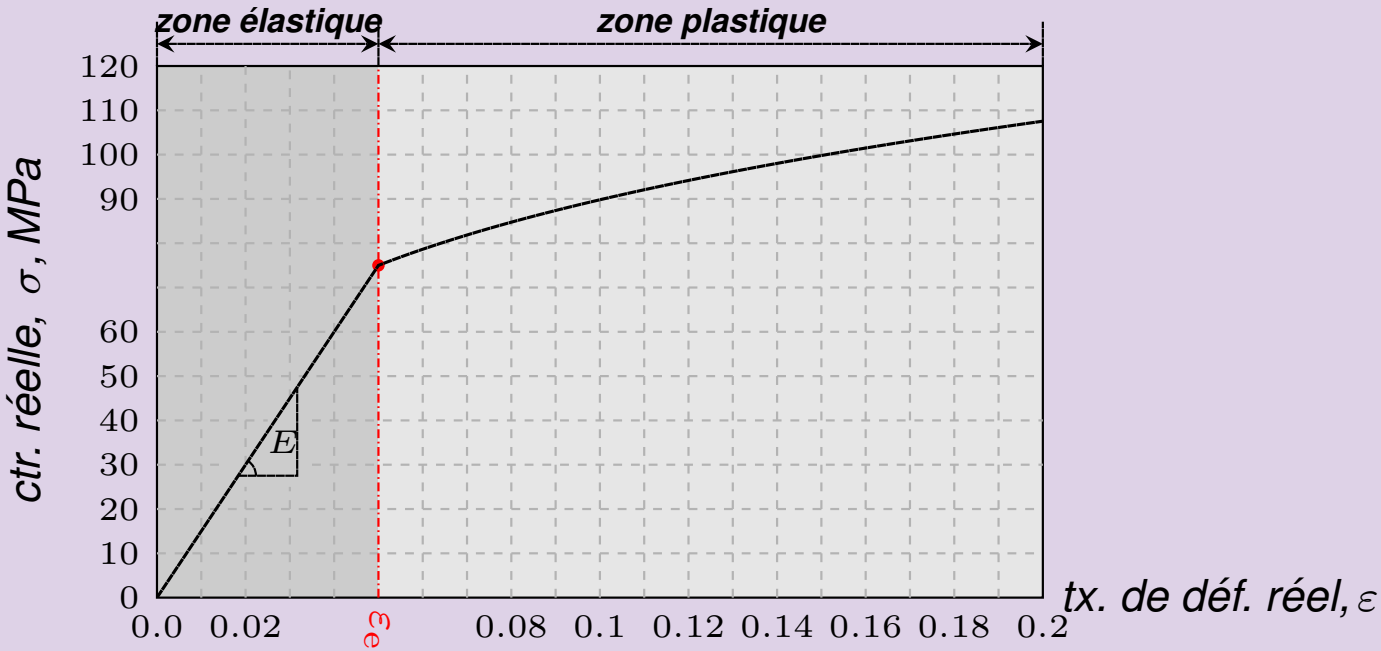
- *Il n'est évidemment **jamais** recommandé d'appliquer les lois d'écrouissage en y remplaçant les taux de déformations réels par les taux nominaux, c'est à dire remplacer la formule $\sigma = K\varepsilon^n$ par la formule $\sigma = Ke^n$.*

2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle



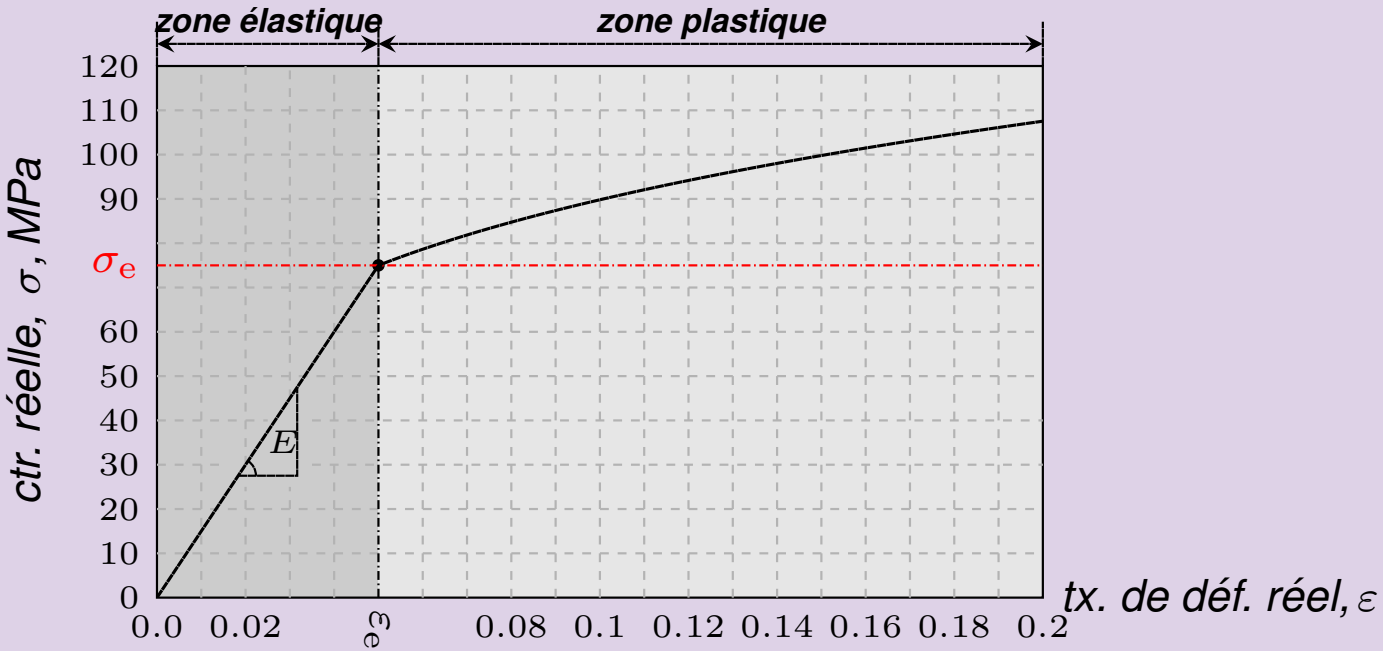
- La quantité $\sigma_e = E\varepsilon_e$ est la **limite élastique réelle du matériau.**

2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle



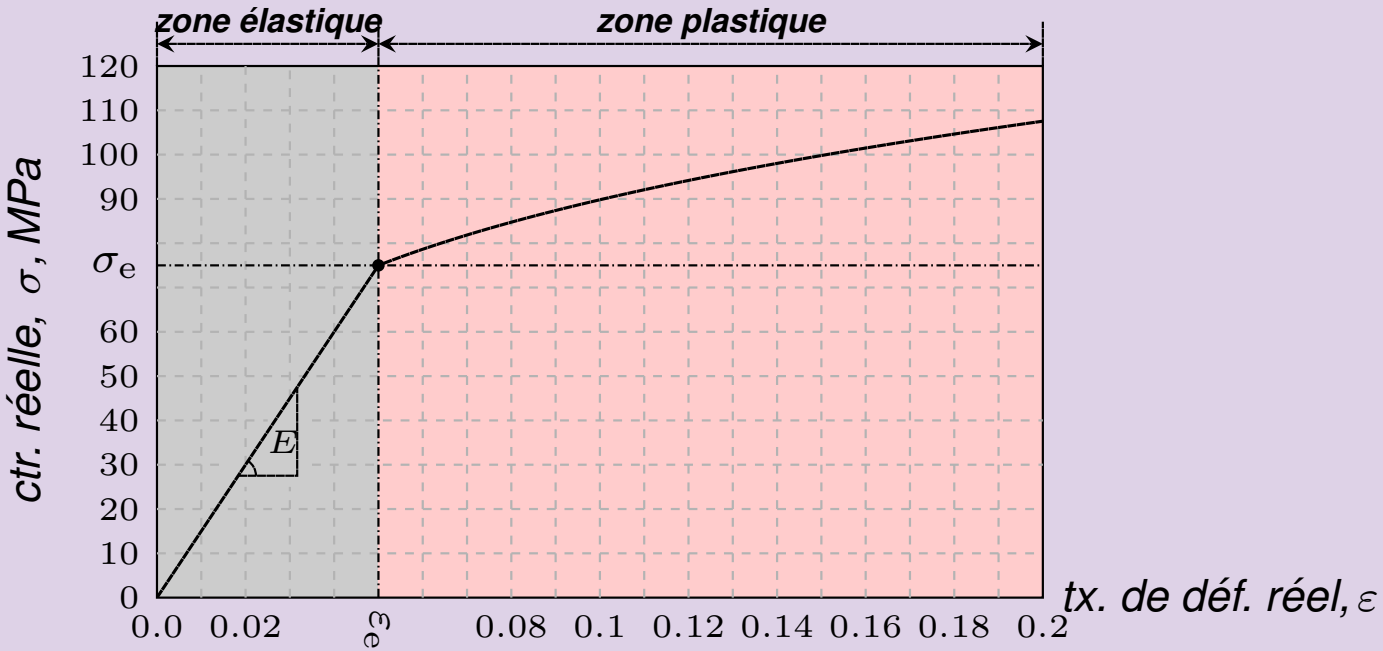
- La quantité $\sigma_e = E\varepsilon_e$ est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. C'est pourquoi on cherche à concevoir des pièces de telle sorte que les contraintes réelles engendrées restent inférieures à cette limite élastique.

2.3.3 Courbe de traction et limite élastique réelle



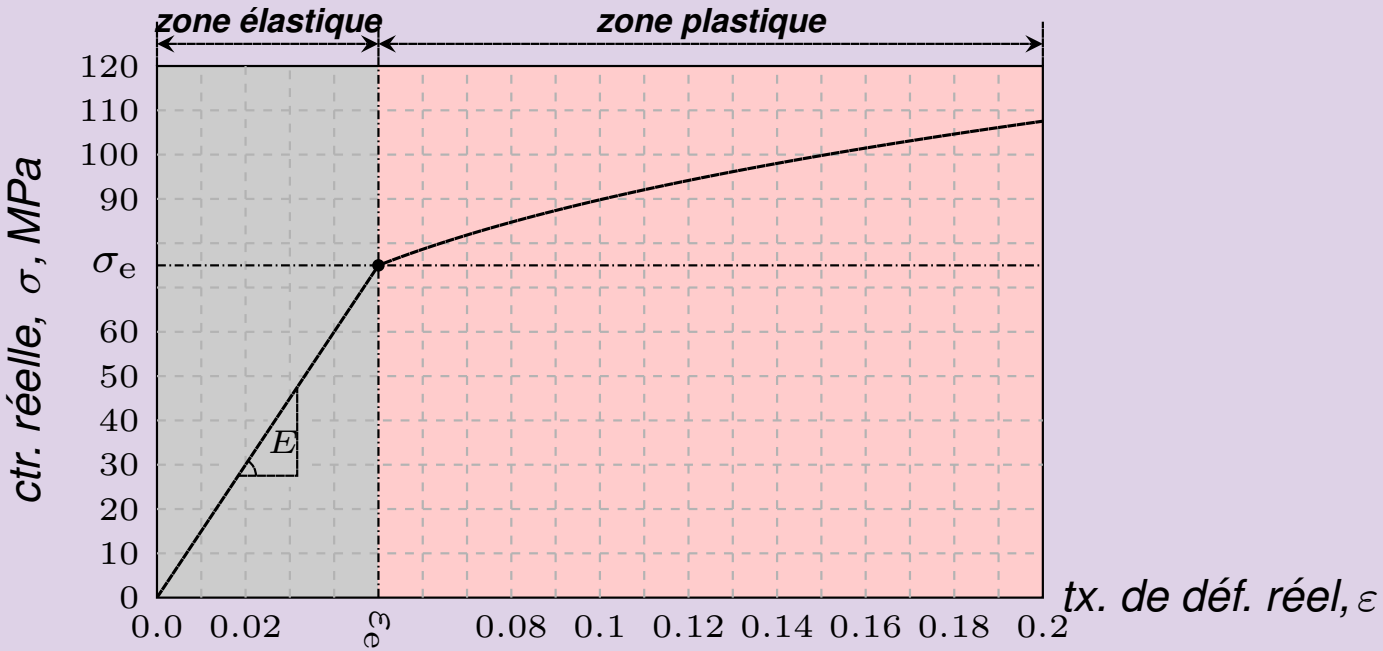
- *La quantité $\sigma_e = E\varepsilon_e$ est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. Cet état est celui recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, . . .). Les forces mises en jeu par ces procédés amèneront le niveau de contrainte au-delà de la valeur σ_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



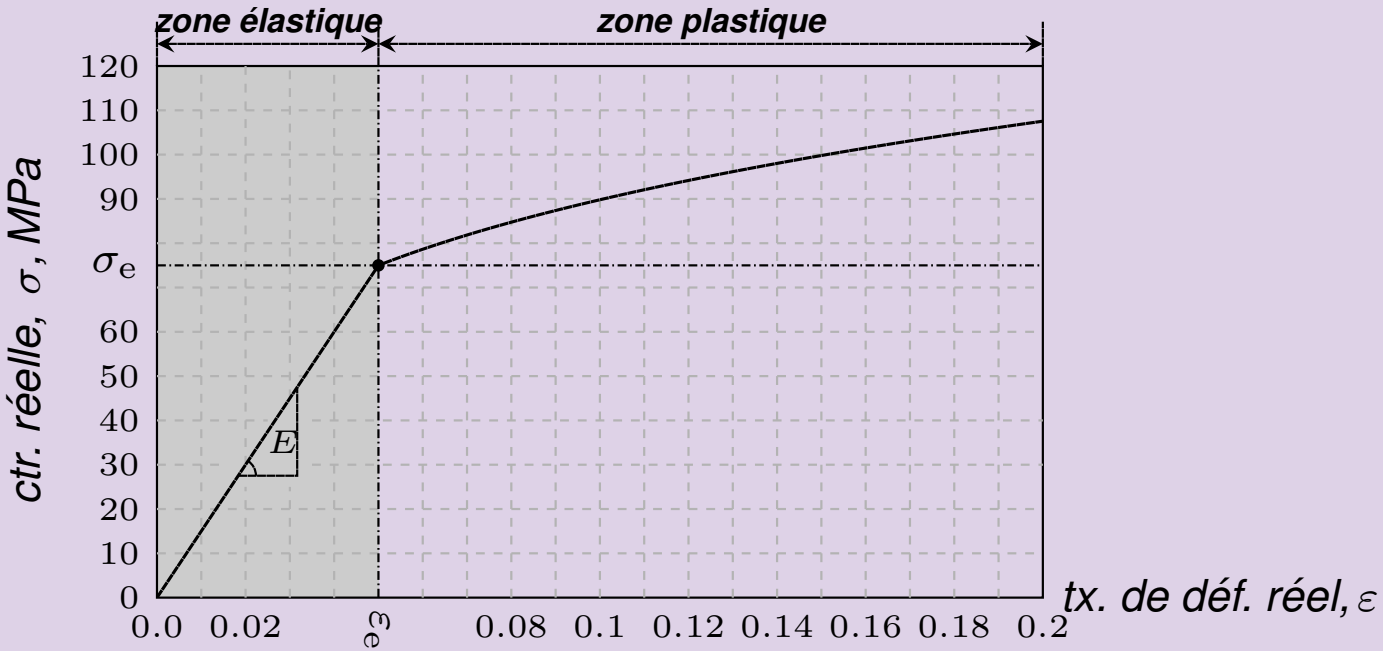
- *La quantité $\sigma_e = E\varepsilon_e$ est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. Cet état est celui recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, ...). Les forces mises en jeu par ces procédés amèneront le niveau de contrainte au-delà de la valeur σ_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



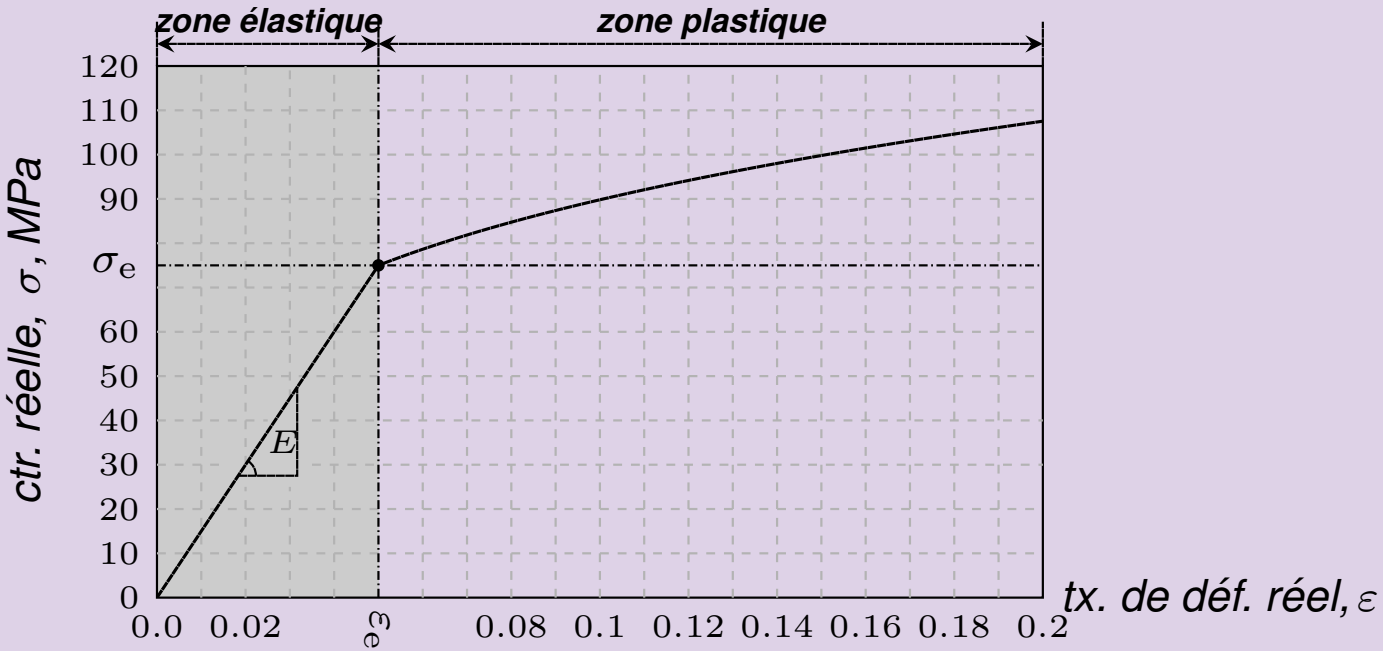
- *La quantité $\sigma_e = E\varepsilon_e$ est la **limite élastique réelle du matériau**. Si la contrainte de traction appliquée excède cette limite, le matériau subit une déformation permanente. Cet état est celui recherché dans les processus de **formage** (forgeage, laminage, . . .). Les forces mises en jeu par ces procédés amèneront le niveau de contrainte au-delà de la valeur σ_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 quantité $\sigma_e = E\varepsilon_e$ 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 σ_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 quantité $\sigma_e = E\varepsilon_e$ 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 σ_e. Cela justifie l'importance de la partie plastique de la courbe de traction dans ce cours.*

2.3.4 Limite élastique réelle - interprétation

- *La quantité σ_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 σ_e (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)*

▸ Ecoulement du matériau

2.3.4 Limite élastique réelle - interprétation

- *La quantité σ_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 σ_e (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)*

2.3.4 Limite élastique réelle - interprétation

- *La quantité σ_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 σ_e (donc la **dureté** du matériau à laquelle elle est liée)*

2.3.4 Limite élastique réelle - interprétation

- *La quantité σ_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 σ_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 au travers des joints de grains qui gênent le mouvement des dislocations,*
  - *en ajoutant des impuretés pour bloquer les dislocations (précipités, éléments de solution).*

2.3.4 Limite élastique réelle - interprétation

- *La quantité σ_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 σ_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

- *La quantité σ_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 σ_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

- *La quantité σ_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 σ_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

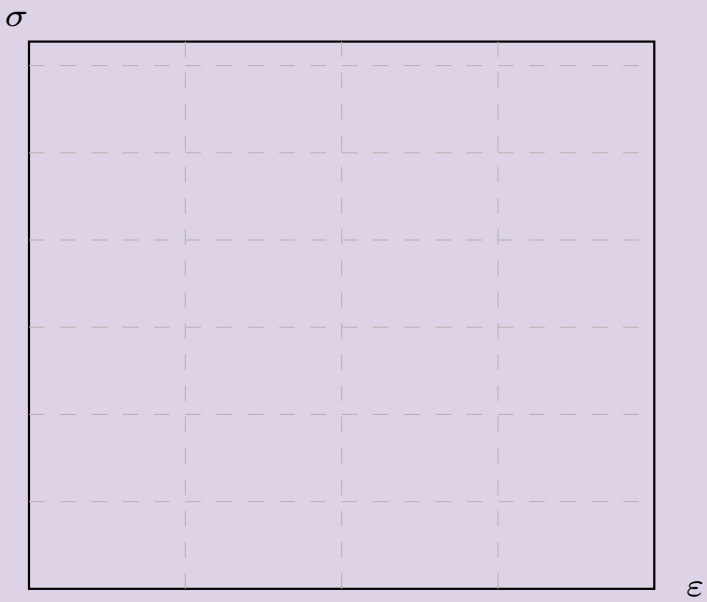
- *La quantité σ_e correspond au niveau de traction uniaxiale à partir duquel les dislocations se mettent à bouger (écoulement du matériau).*
  - *Il faut souligner que seules des contraintes de **cisaillement** peuvent mobiliser des dislocations. Or un état de traction uniaxiale implique que certains plans sont sollicités en cisaillement !*
- *On peut augmenter la limite élastique réelle σ_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

- *La quantité σ_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 σ_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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

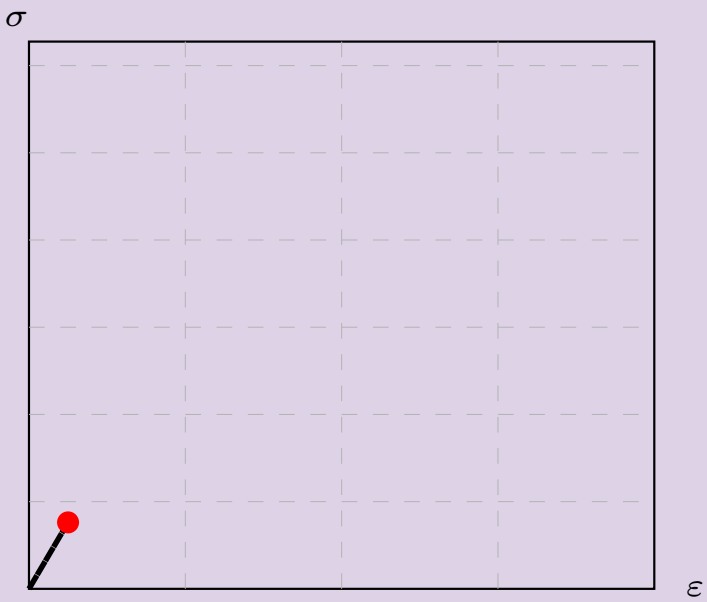


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

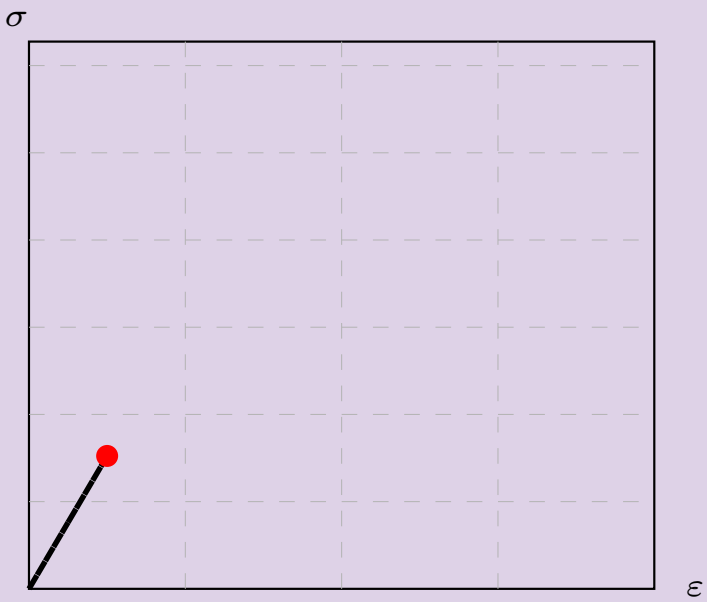


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

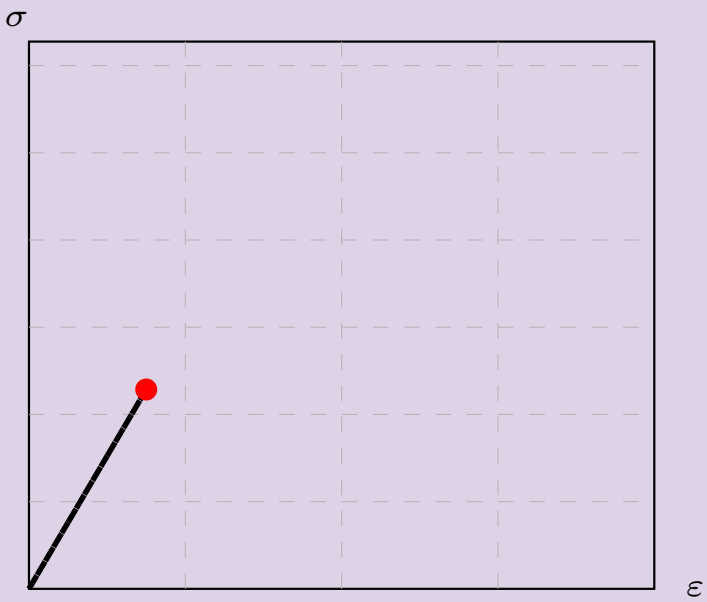


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

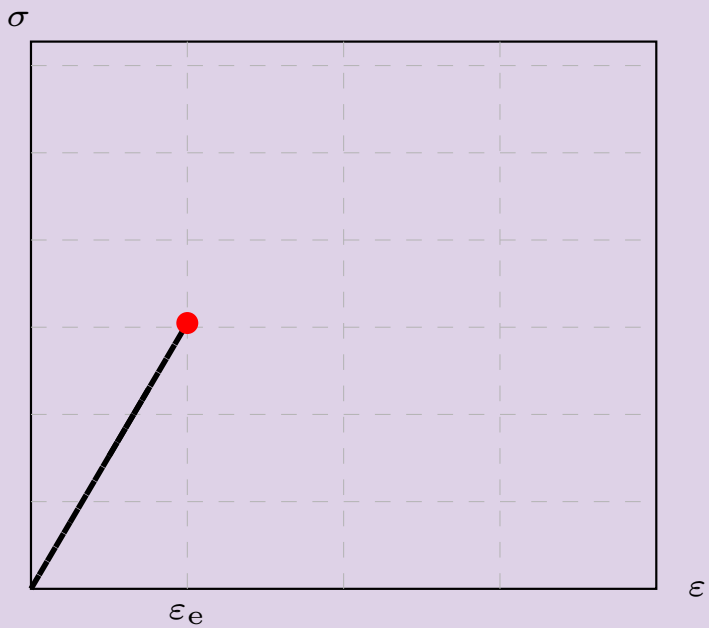


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

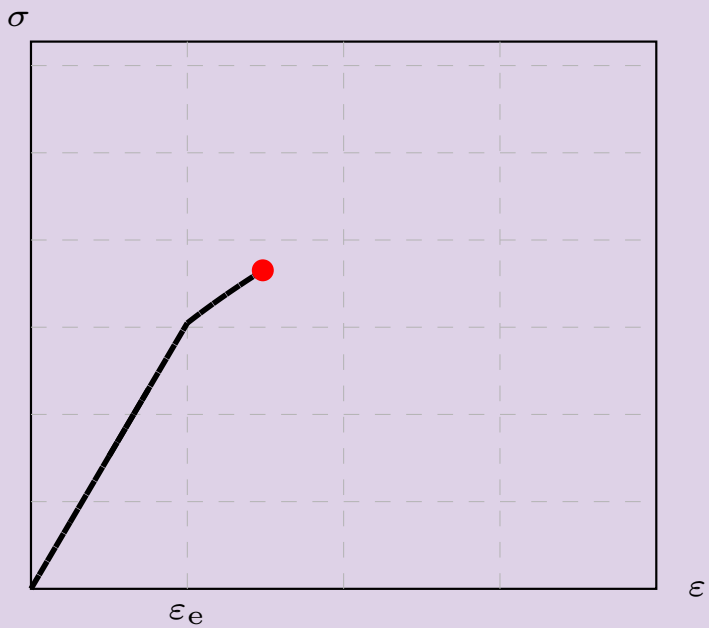


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

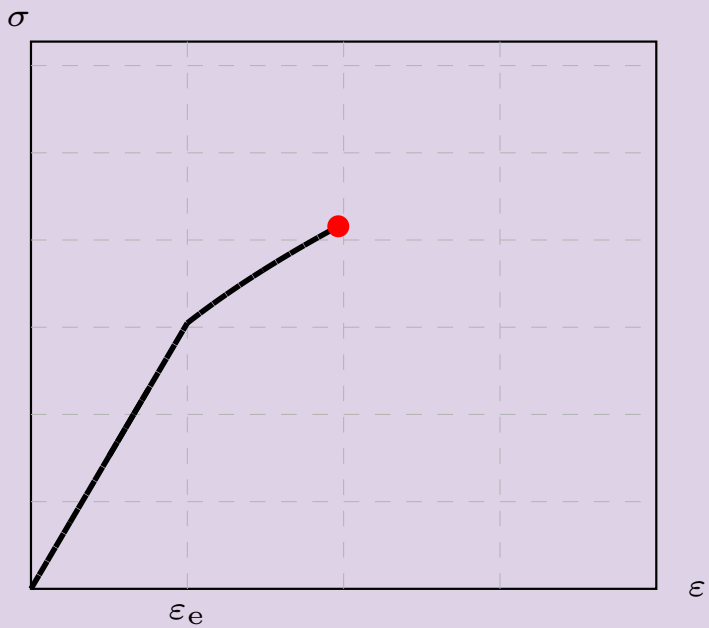


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

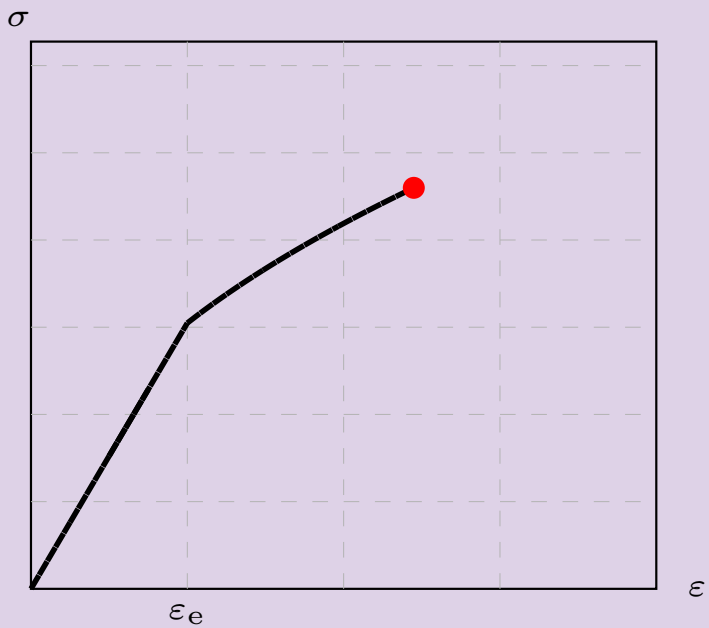


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

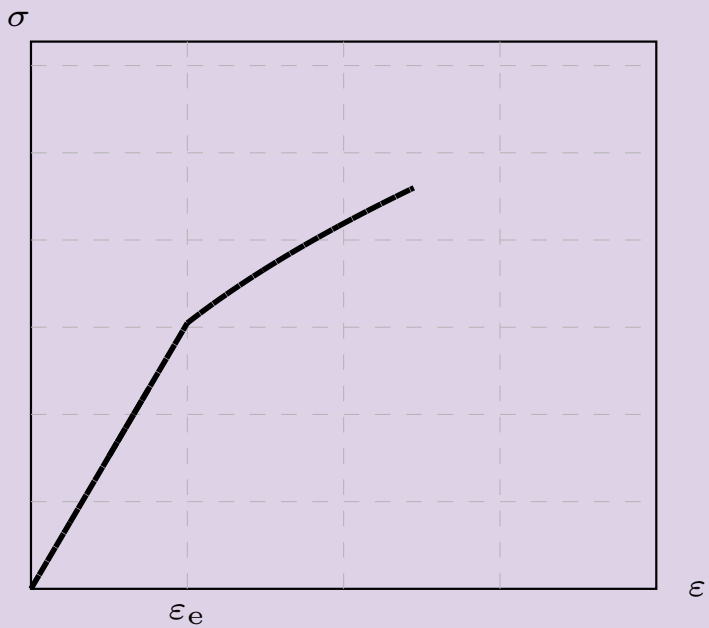


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

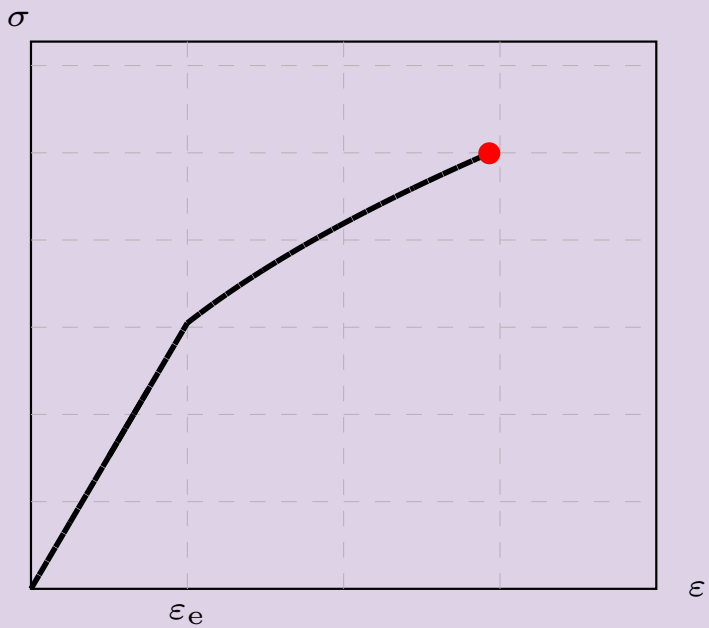


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

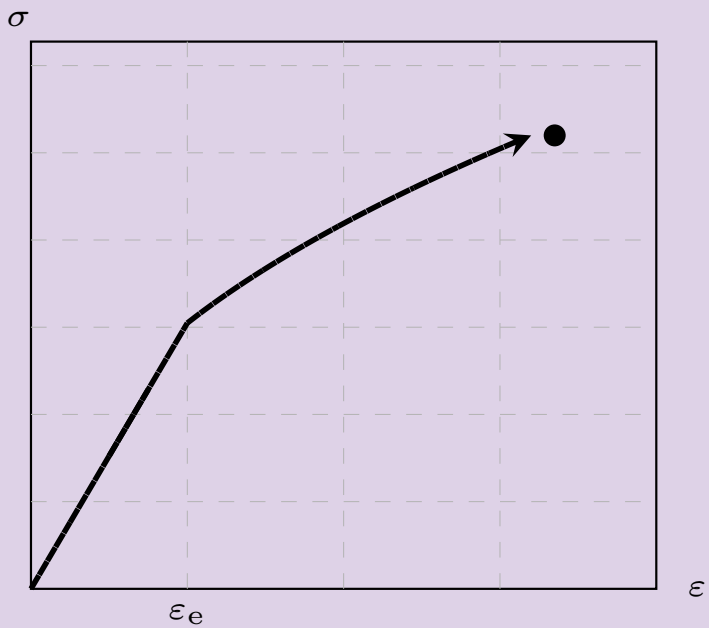


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

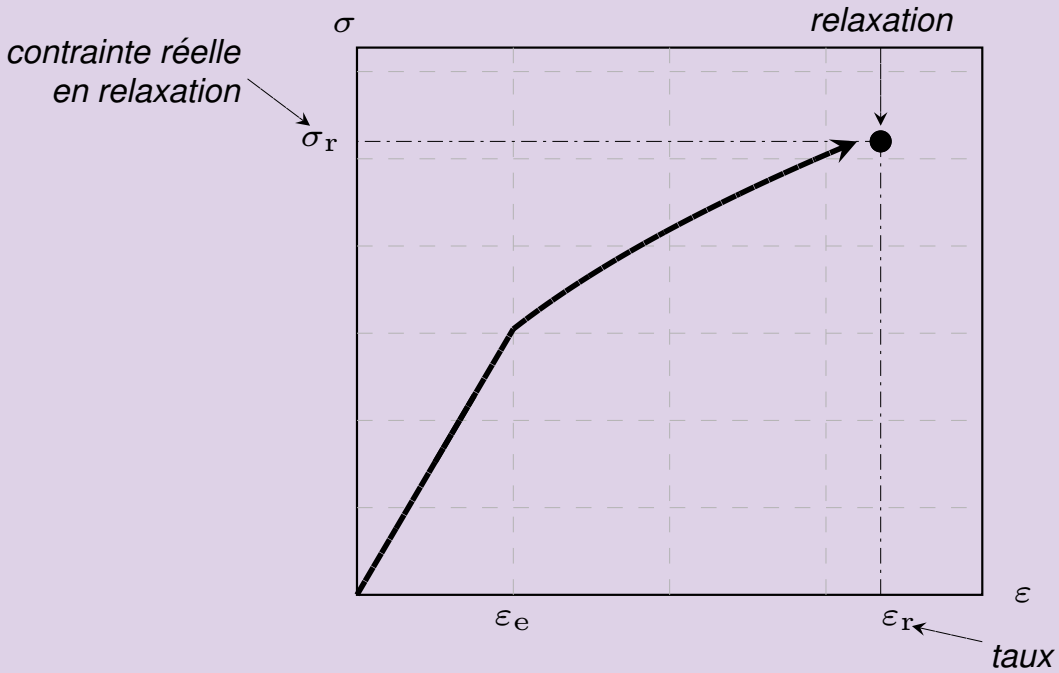


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

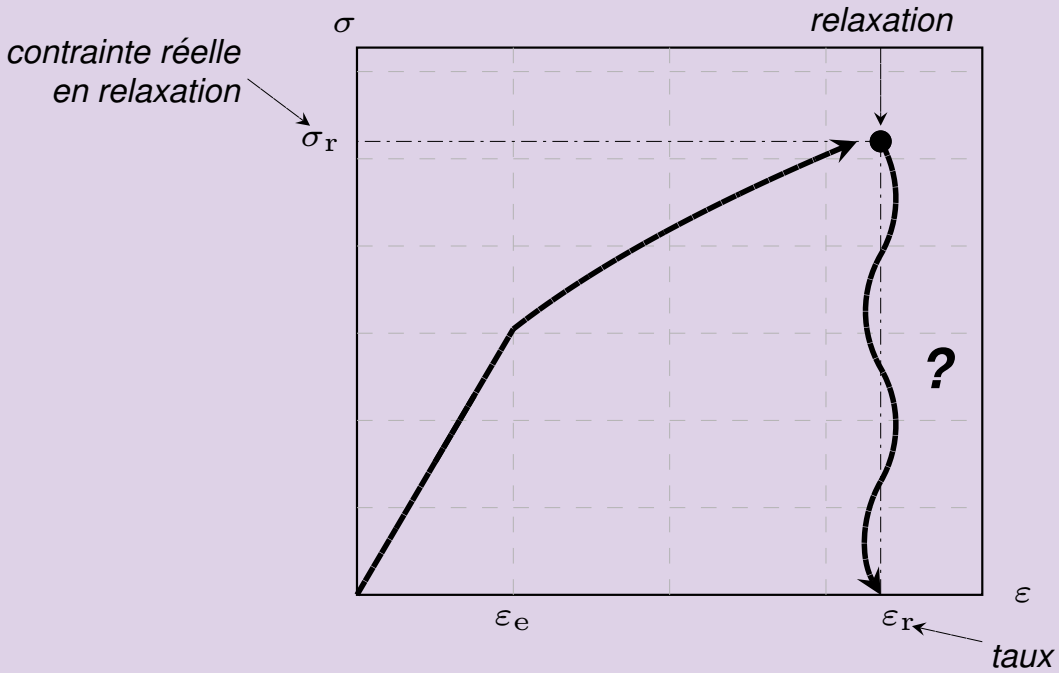


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

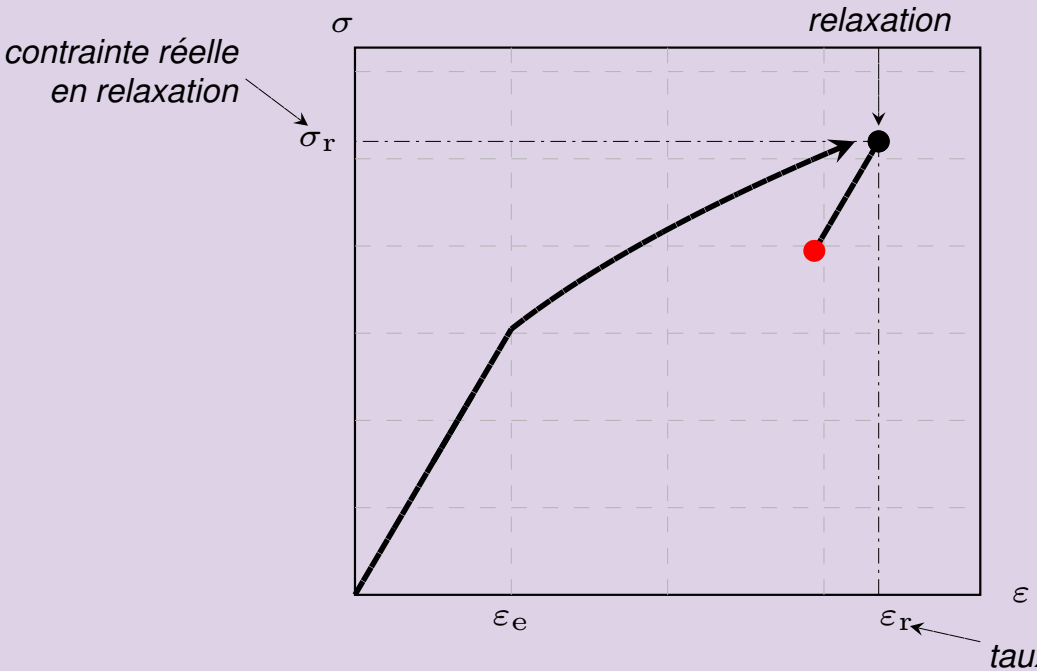


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

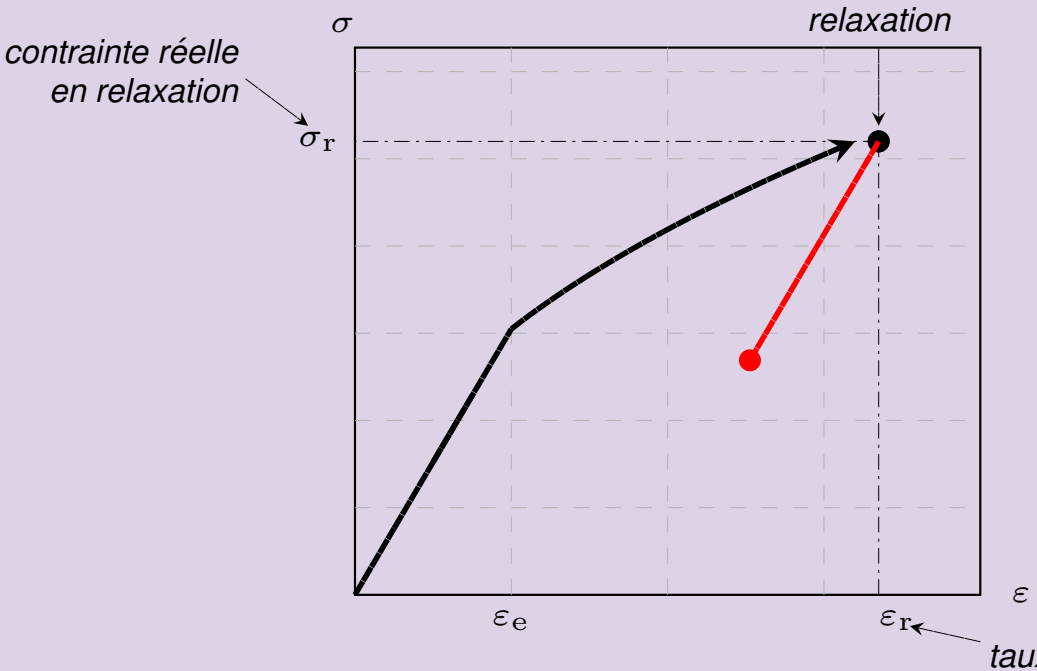


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

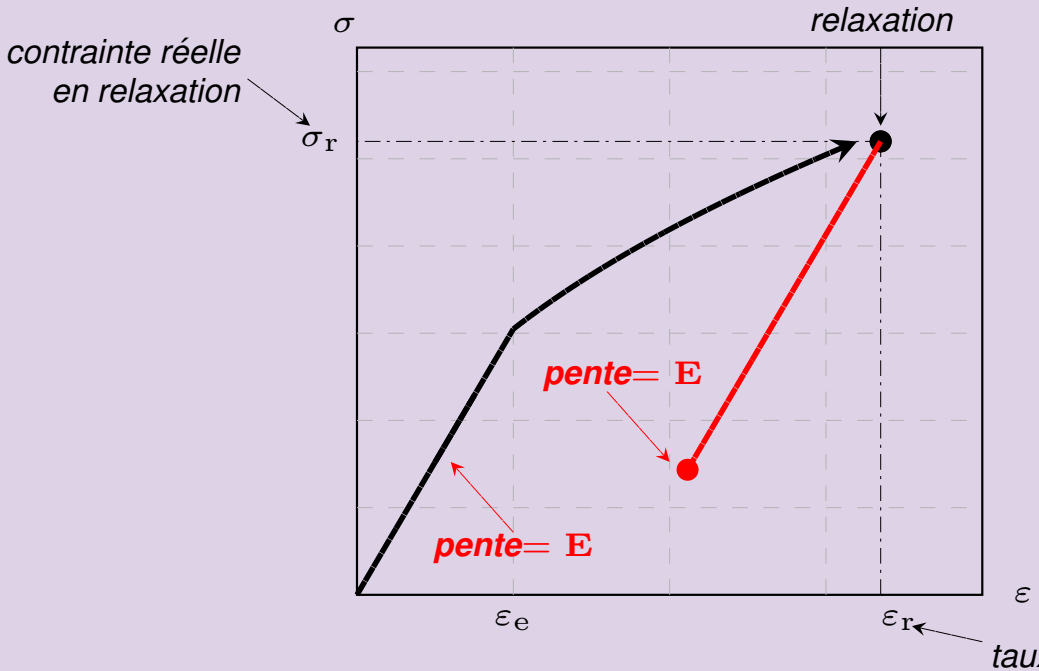


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

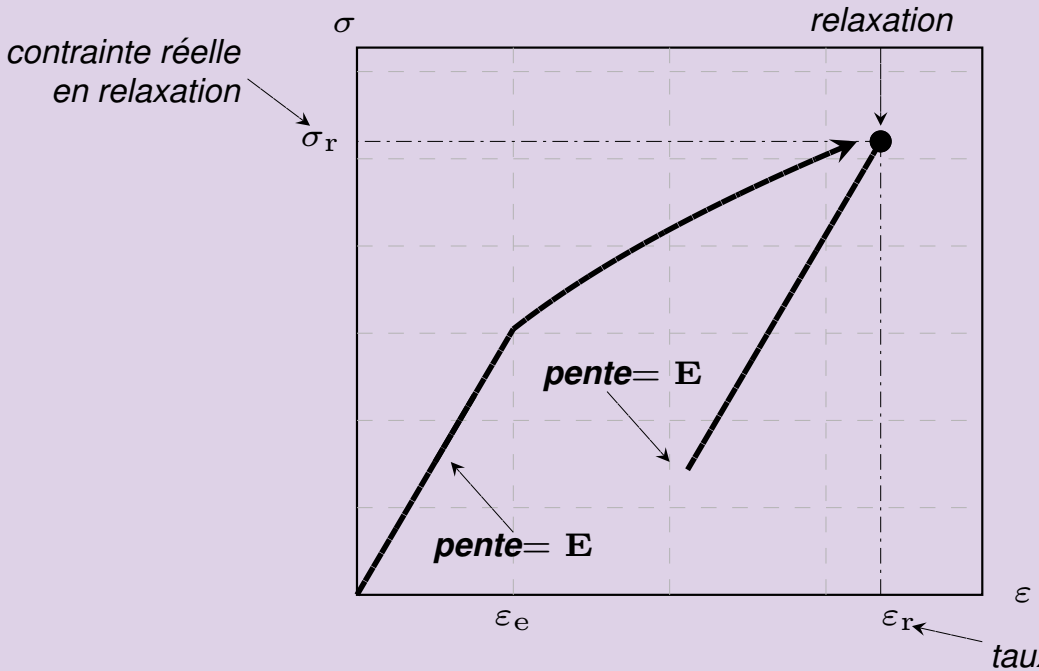


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

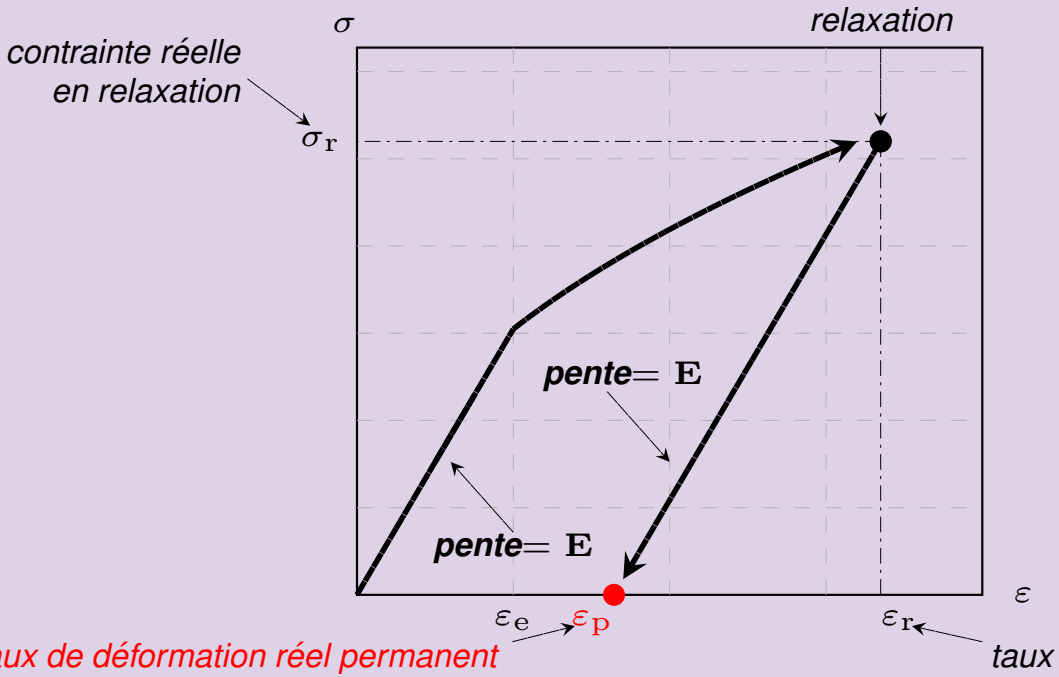


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

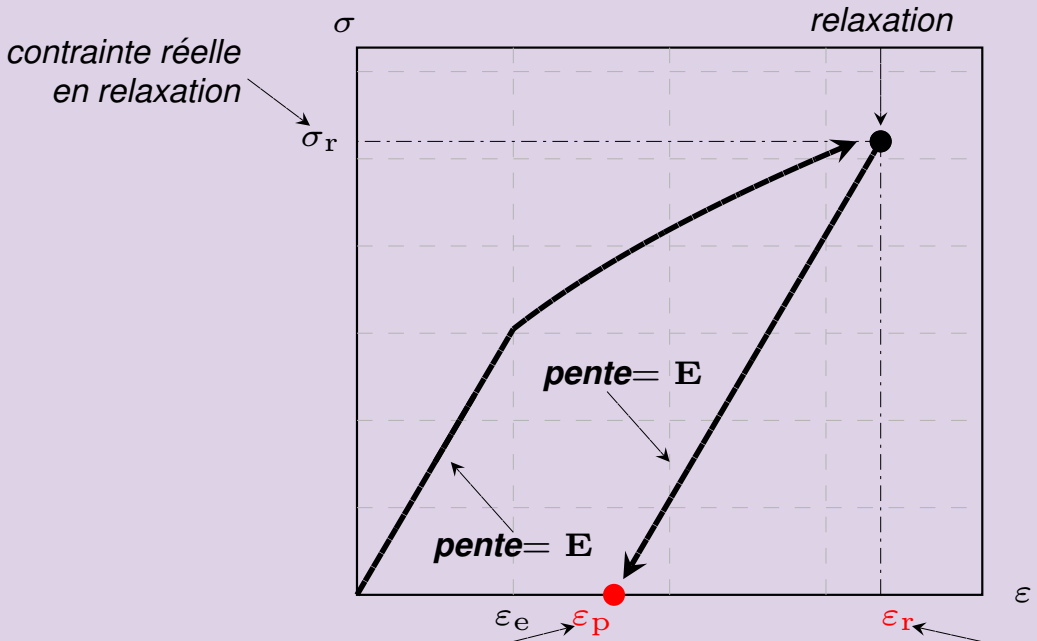


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

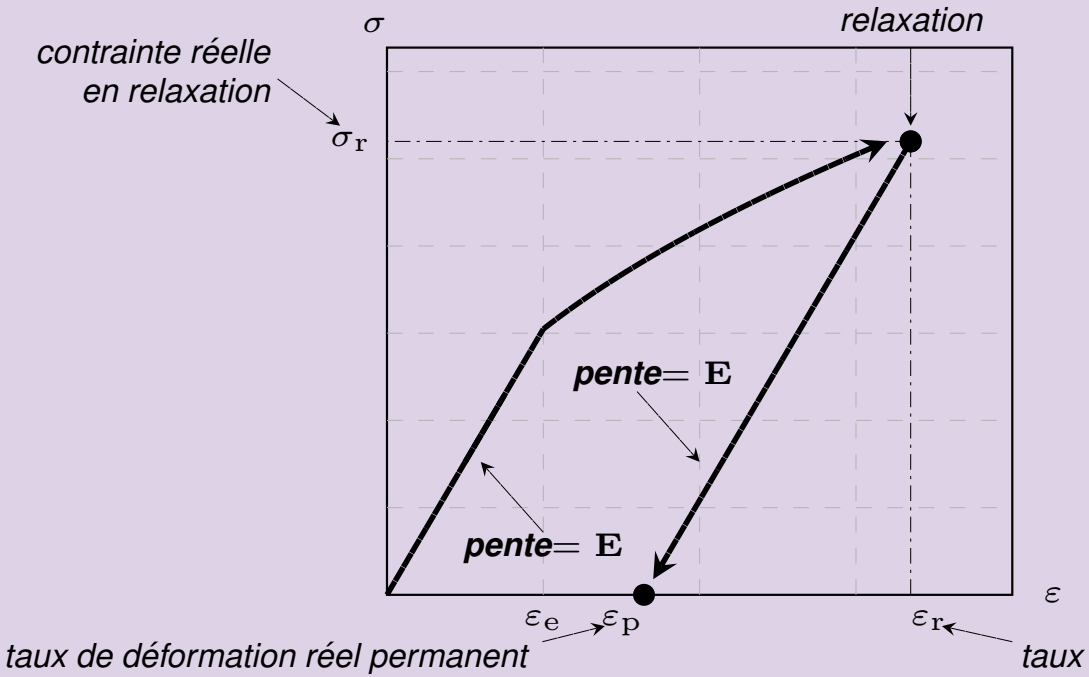


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

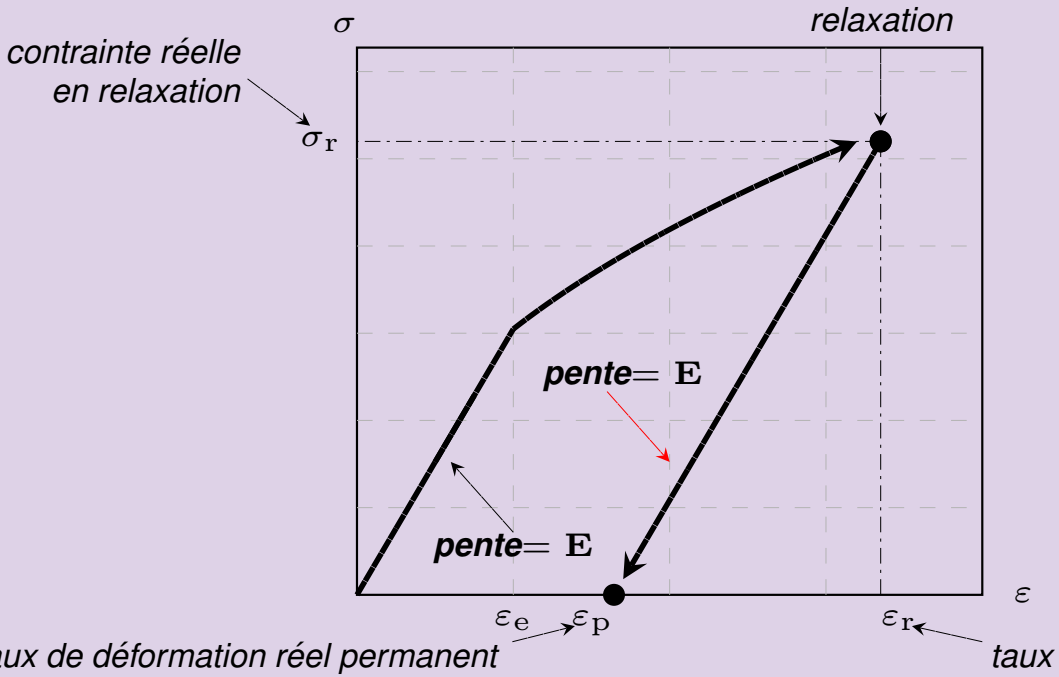


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*

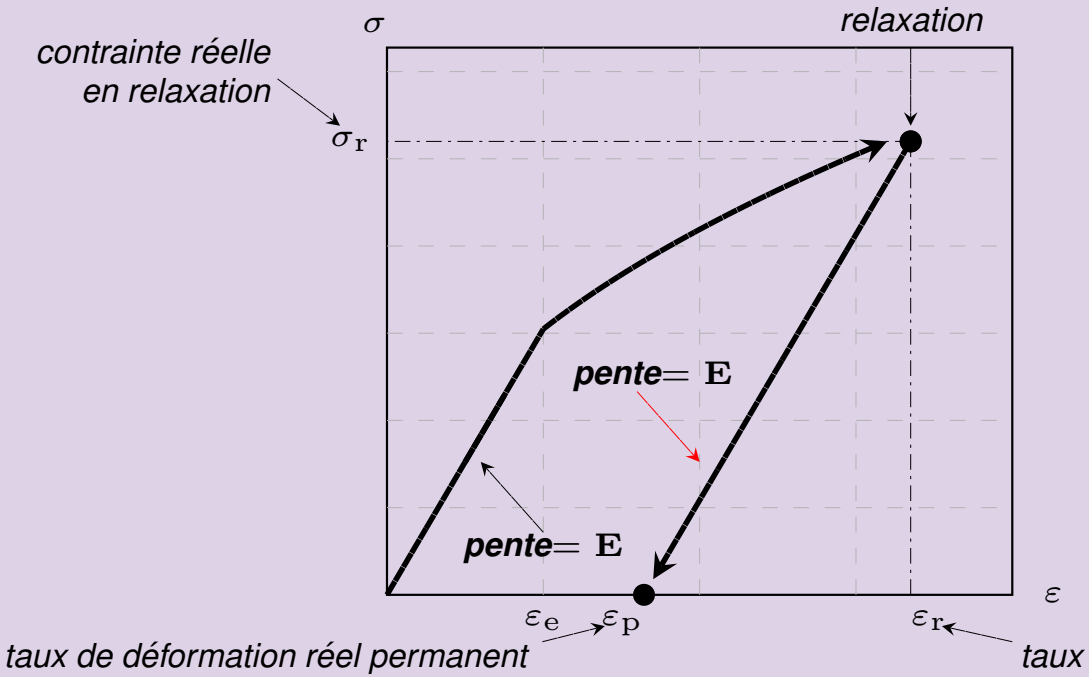


courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) 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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*



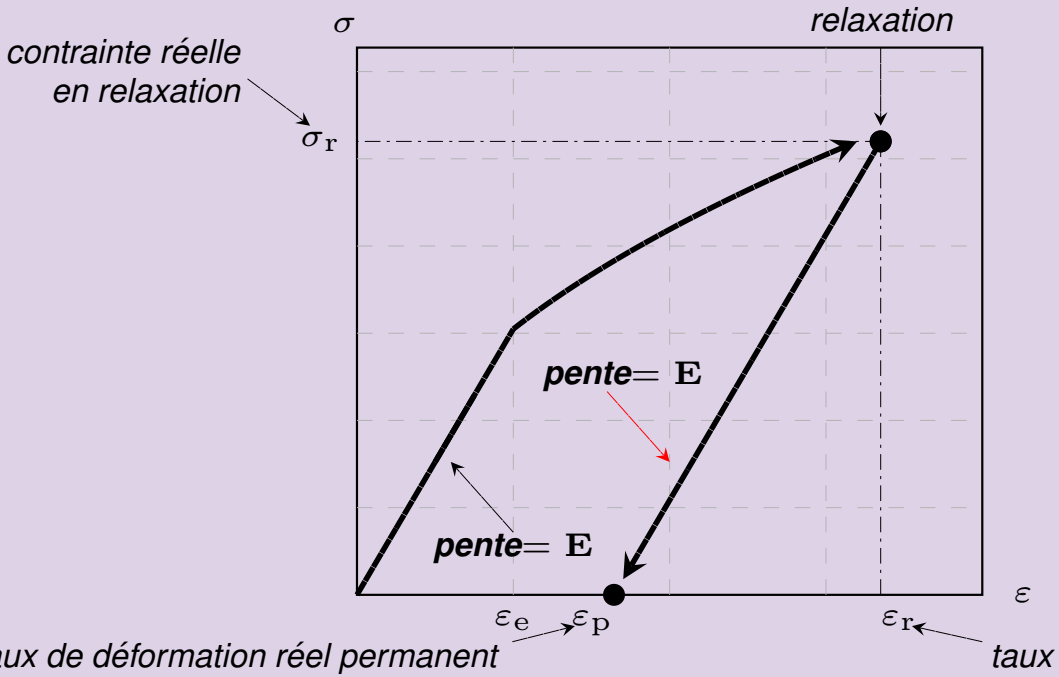
courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) lors d'une relaxation.

▸ Exo 2, 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 (ε, σ) 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 ε_{p} : le taux de déformation réel permanent.*



courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) lors d'une relaxation.

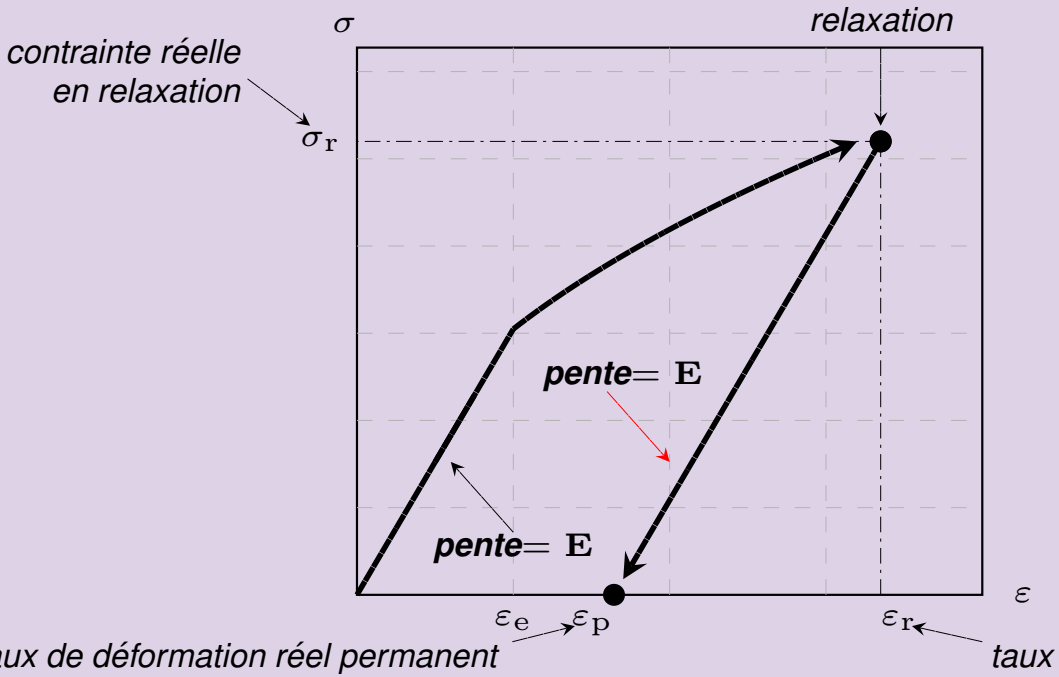
Relation entre ε_{r} et ε_{p} :

$$\frac{\varepsilon_{\mathrm{p}}}{\varepsilon_{\mathrm{e}}} = \frac{\varepsilon_{\mathrm{r}}}{\varepsilon_{\mathrm{e}}} - \left(\frac{\varepsilon_{\mathrm{r}}}{\varepsilon_{\mathrm{e}}}\right)^{n}$$

(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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*



courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) lors d'une relaxation.

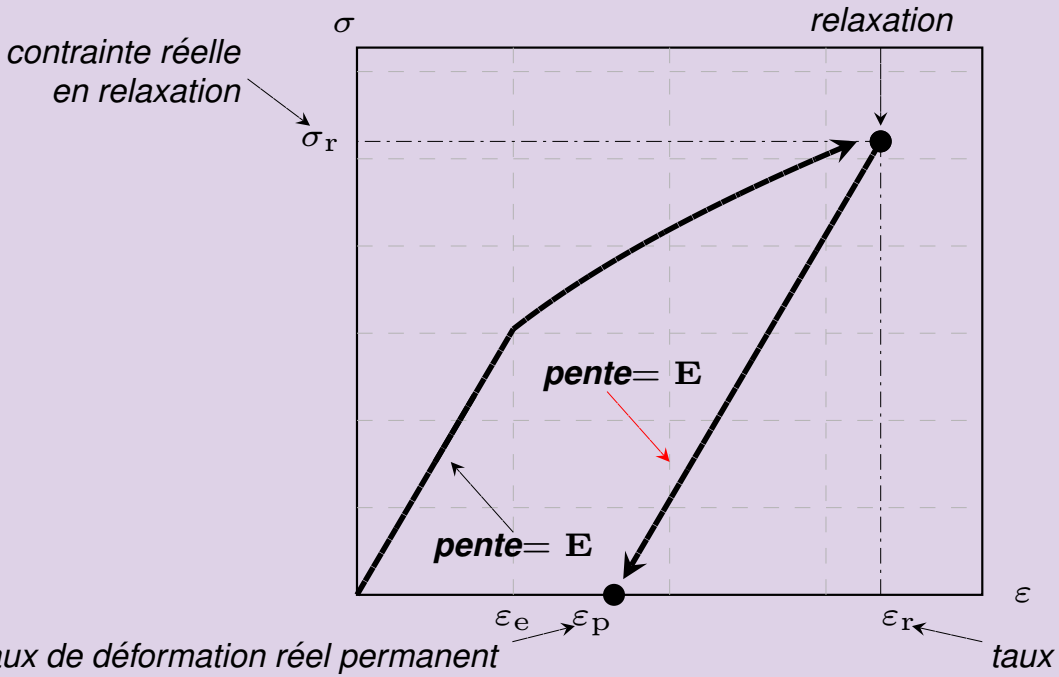
Relation entre ε_r et ε_p :

$$\frac{\varepsilon_\mathrm{p}}{\varepsilon_\mathrm{e}} = \frac{\varepsilon_\mathrm{r}}{\varepsilon_\mathrm{e}} - \left(\frac{\varepsilon_\mathrm{r}}{\varepsilon_\mathrm{e}}\right)^n$$

(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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*



courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) lors d'une relaxation.

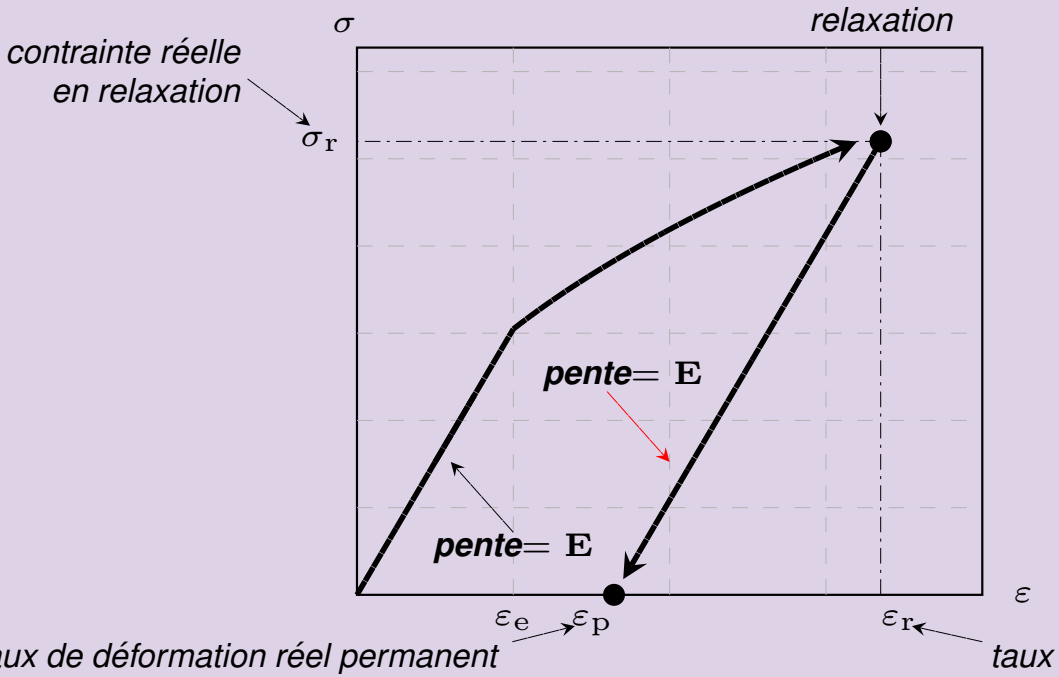
Relation entre ε_r et ε_p :

$$\frac{\varepsilon_\mathrm{p}}{\varepsilon_\mathrm{e}} = \frac{\varepsilon_\mathrm{r}}{\varepsilon_\mathrm{e}} - \left(\frac{\varepsilon_\mathrm{r}}{\varepsilon_\mathrm{e}}\right)^n$$

(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 (ε, σ) 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 ε_p : le taux de déformation réel permanent.*



courbe de traction réelle :

Evolution du couple (ε, σ) lors d'une relaxation.

Relation entre ε_r et ε_p :

$$\frac{\varepsilon_\mathrm{p}}{\varepsilon_\mathrm{e}} = \frac{\varepsilon_\mathrm{r}}{\varepsilon_\mathrm{e}} - \left(\frac{\varepsilon_\mathrm{r}}{\varepsilon_\mathrm{e}}\right)^n$$

(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** puis son point représentatif dans le plan (σ, ε)*

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 (ε, σ)*

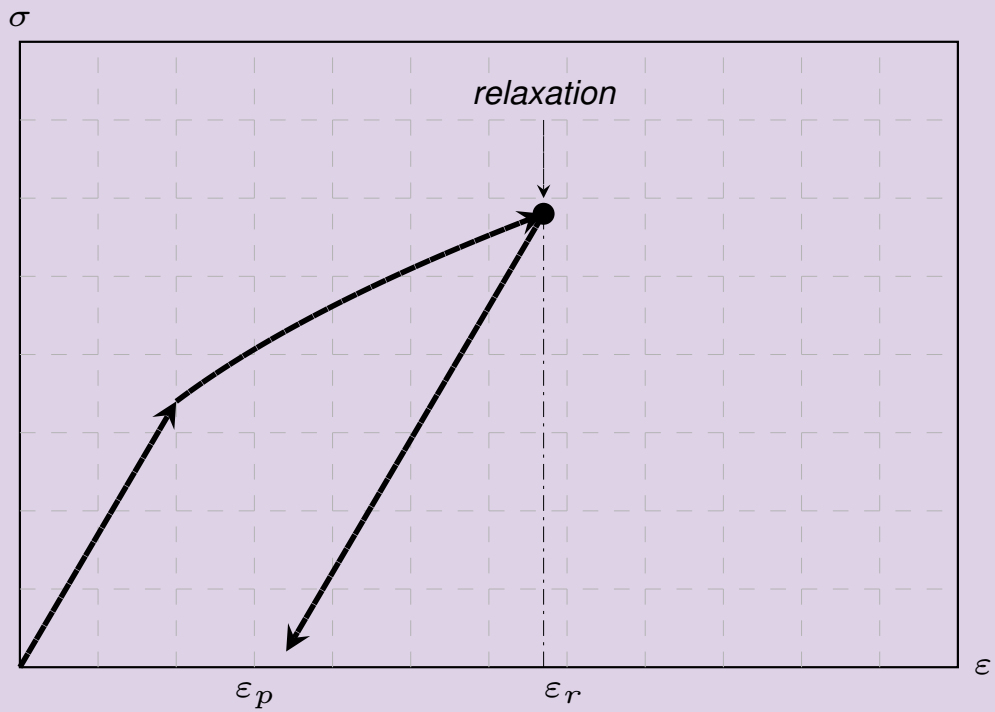


Fig.9 *Reprise de l'exp. de traction après relaxation.*

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 (ε, σ) dessine la courbe qu'il aurait dessiné si la relaxation n'avait pas eu lieu.*

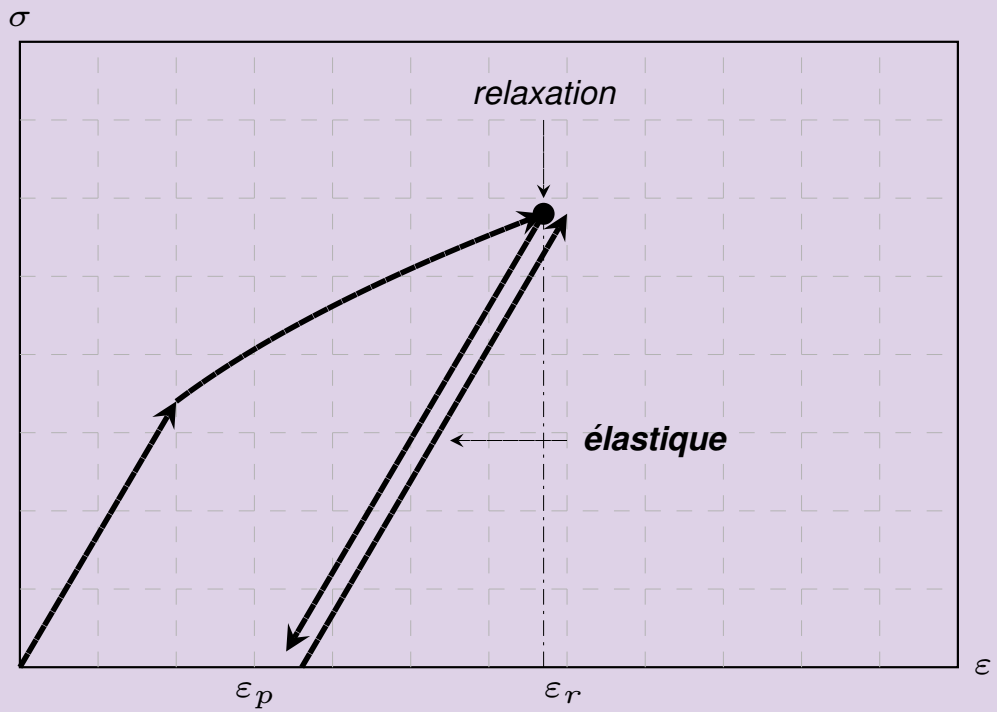


Fig.9 *Reprise de l'exp. de traction après relaxation.*

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 (ε, σ) dessine la courbe qu'il aurait dessiné si la relaxation n'avait pas eu lieu.*

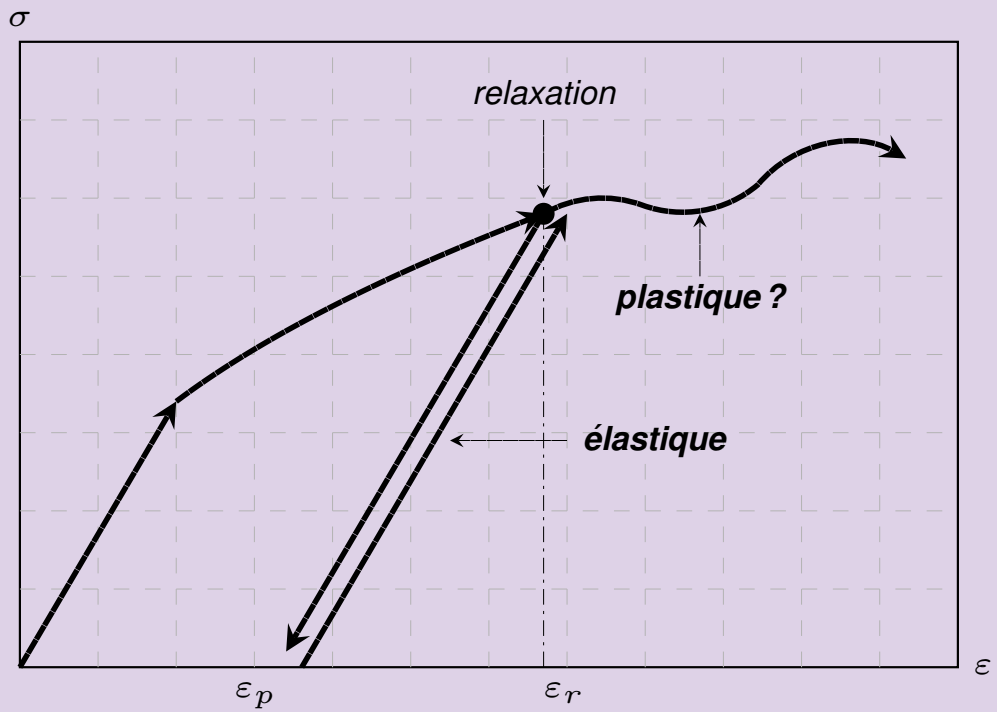


Fig.9 *Reprise de l'exp. de traction après relaxation.*

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 (ε, σ) dessine la courbe qu'il aurait dessiné si la relaxation n'avait pas eu lieu.*

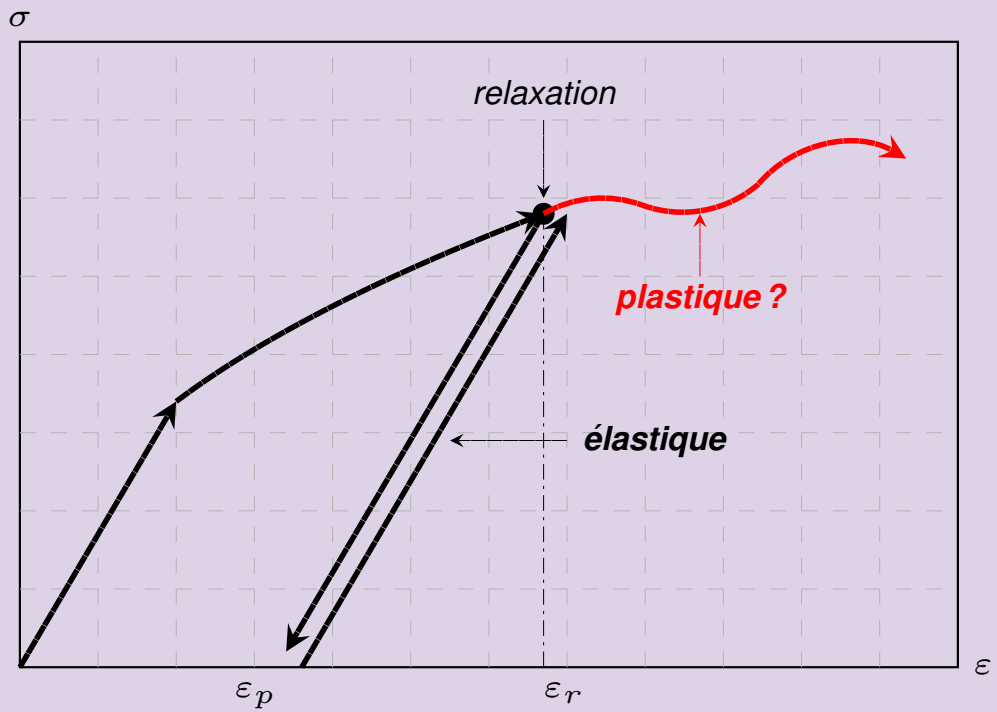


Fig.9 *Reprise de l'exp. de traction après relaxation.*

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 (ε, σ) dessine la courbe qu'il aurait dessiné si la relaxation n'avait pas eu lieu.*

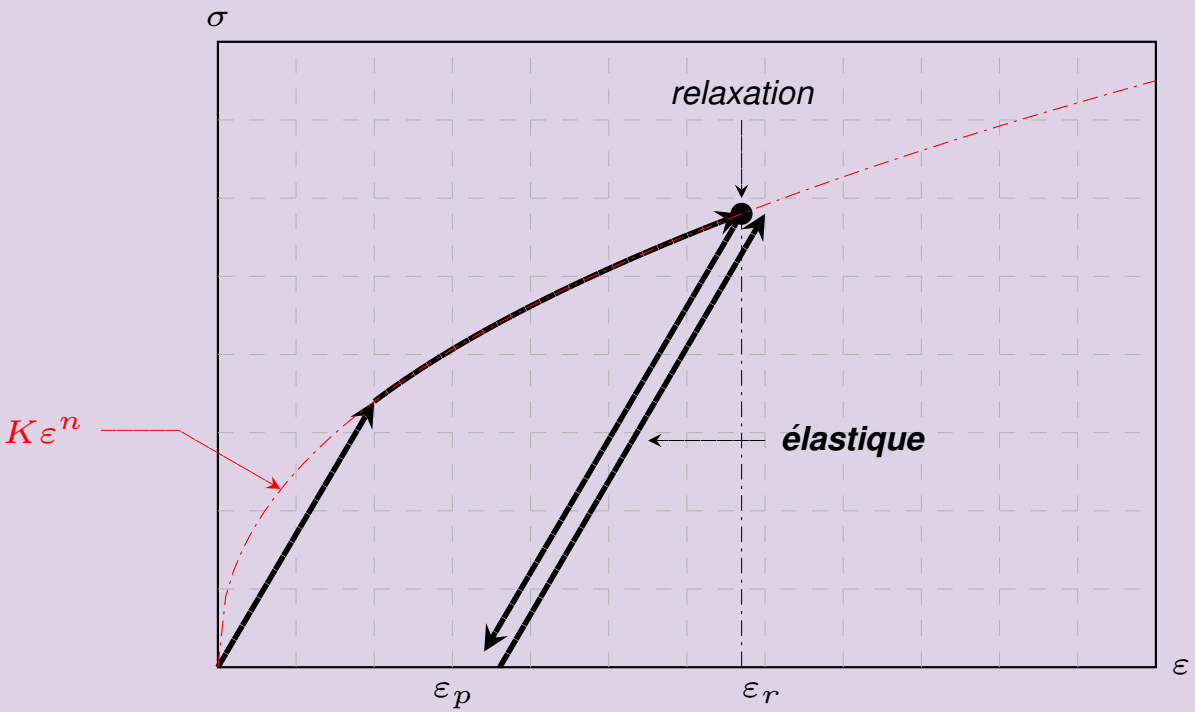


Fig.9 *Reprise de l'exp. de traction après relaxation.*

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 (ε, σ) dessine la courbe qu'il aurait dessiné si la relaxation n'avait pas eu lieu.*

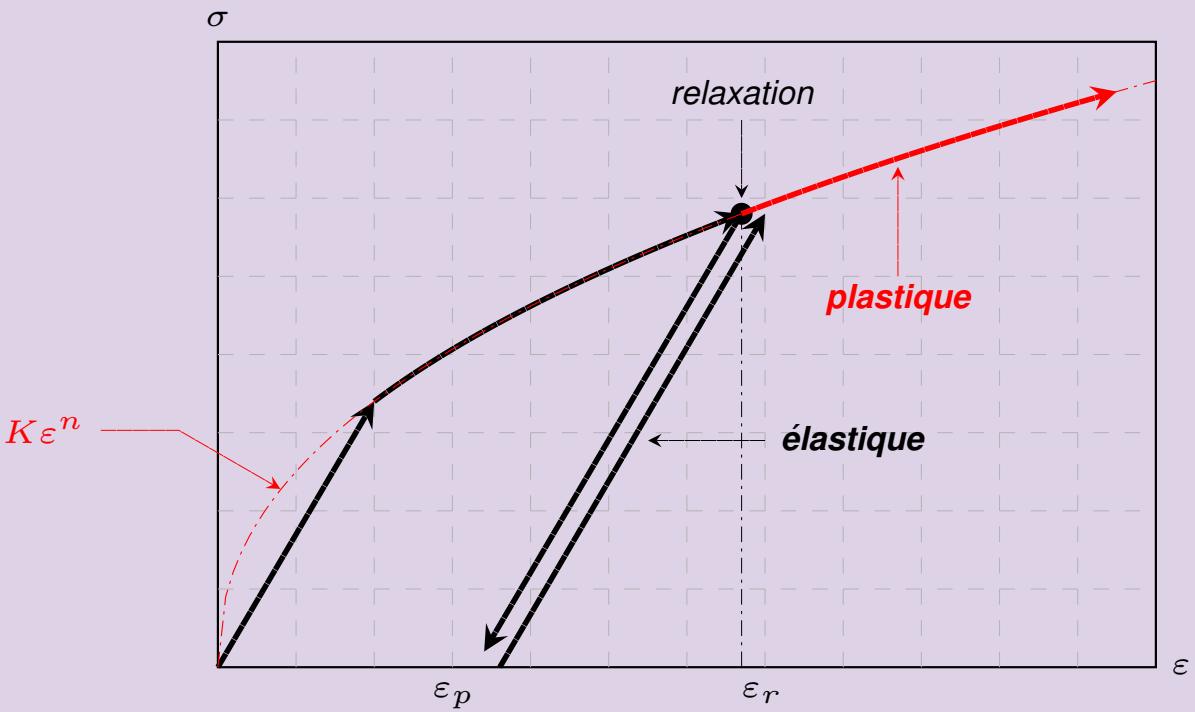
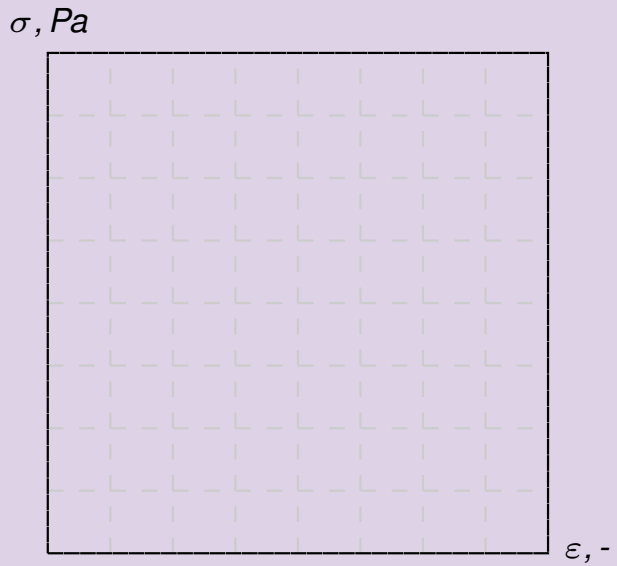


Fig.9 *Reprise de l'exp. de traction après relaxation.*

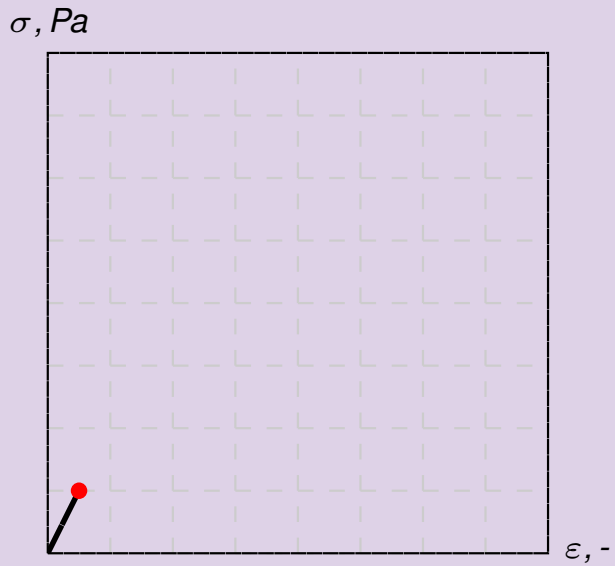
2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*
  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*



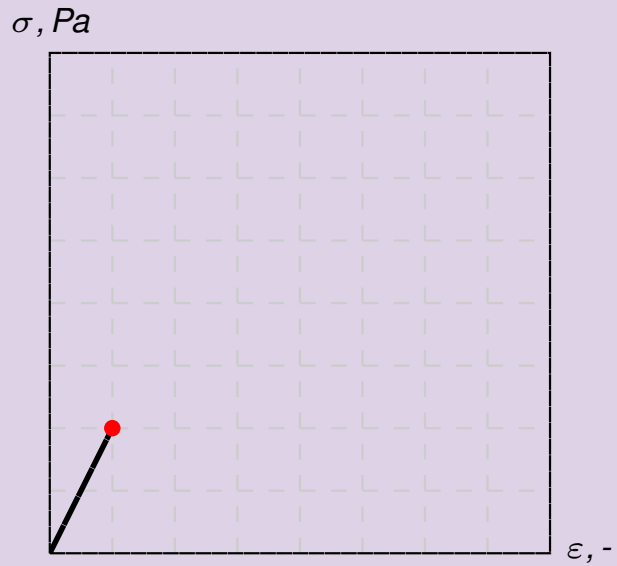
2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*
  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*



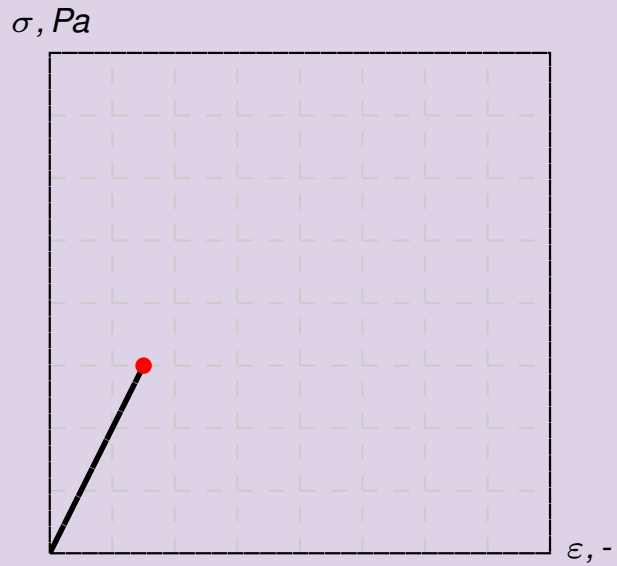
2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*
  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*



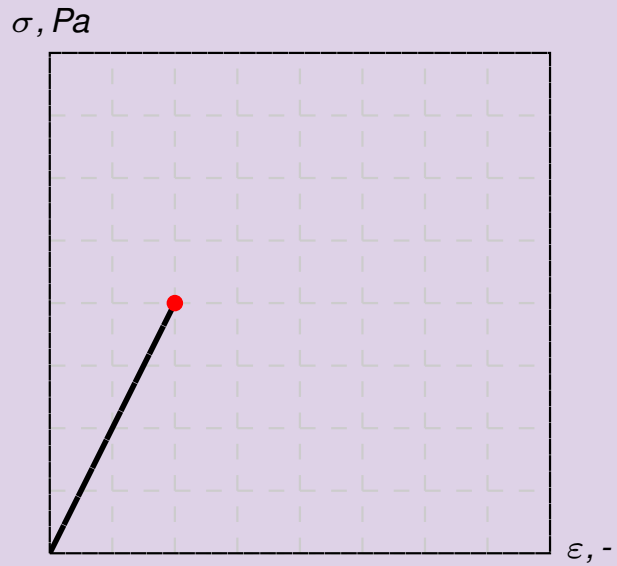
2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*
  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*



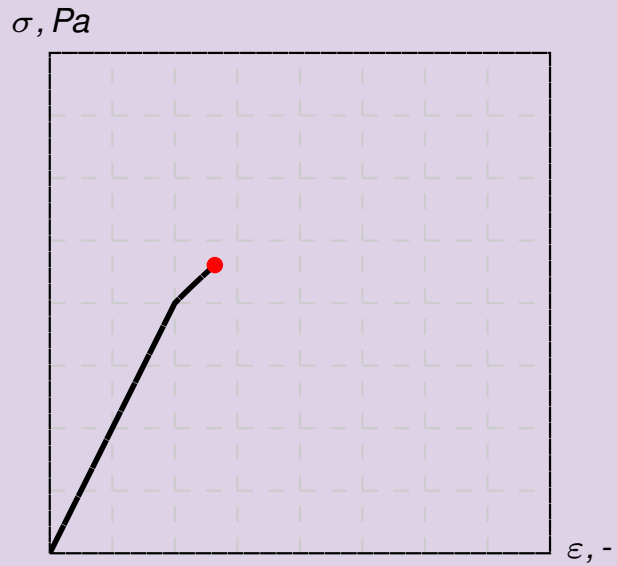
2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*
  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*



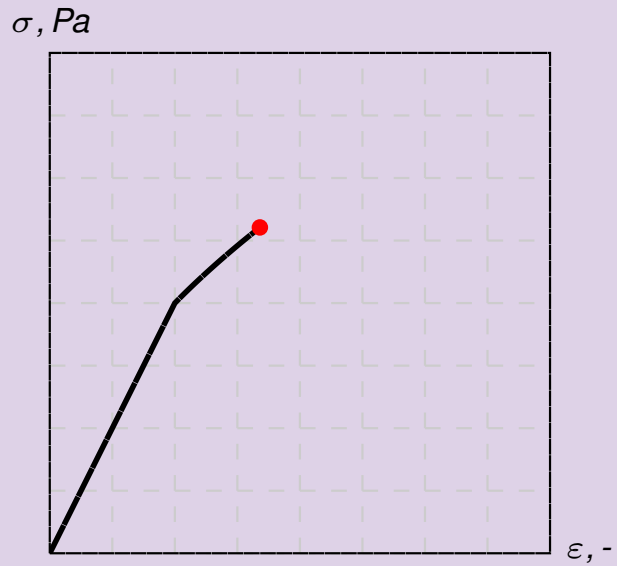
2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*
  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*



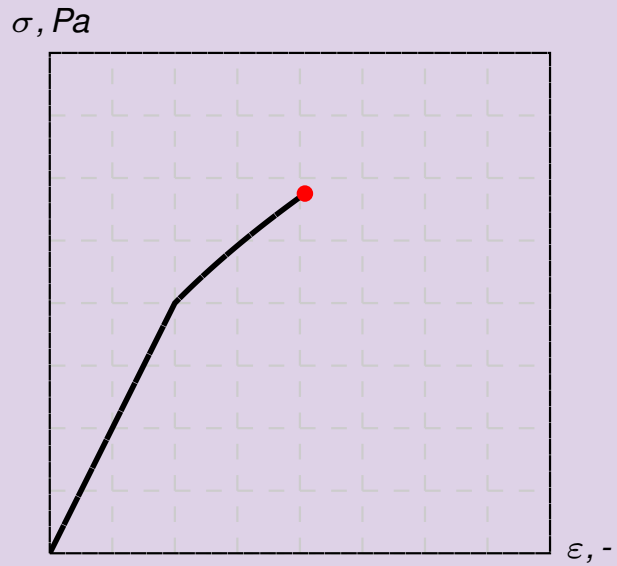
2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*
  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*



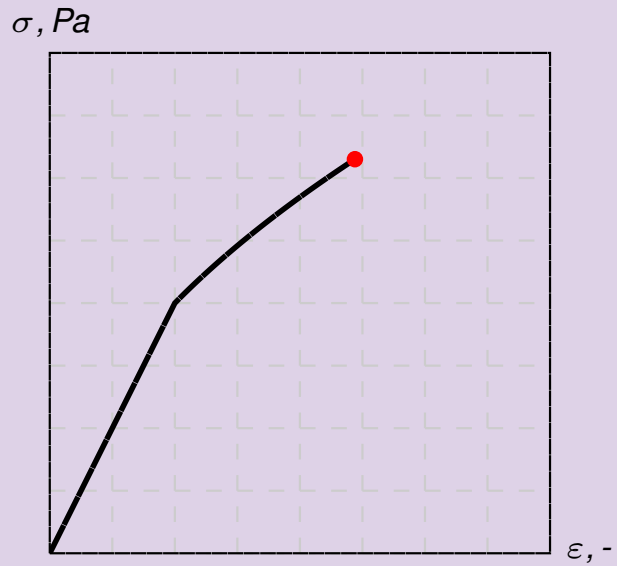
2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*
  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ 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

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*
  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*

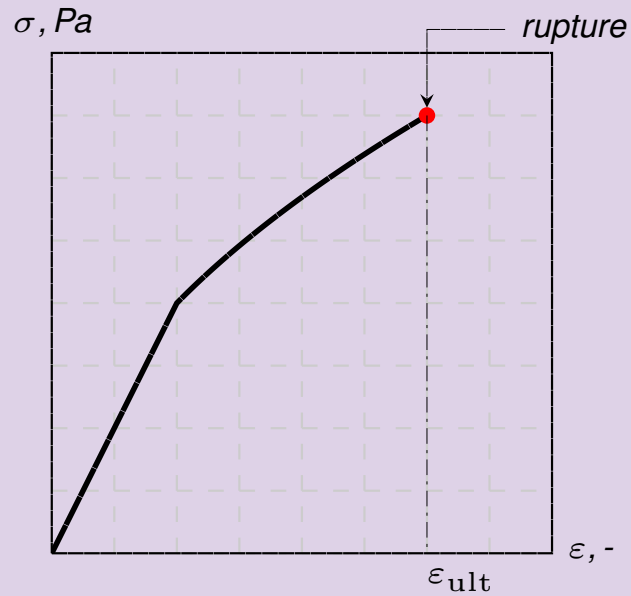


2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*

$$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}} - \varepsilon_{\mathrm{ult}}^{\mathrm{el}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}}^{\mathrm{pl}} \tag{18}$$

  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*

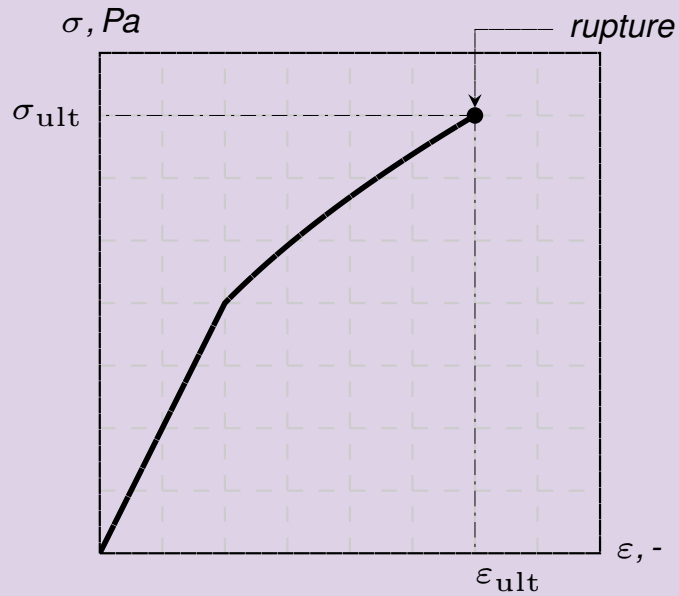


2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*

$$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}} - \varepsilon_{\mathrm{e}}^{\mathrm{ult}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}} - \frac{\sigma_{\mathrm{ult}}}{E} \tag{18}$$

  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*

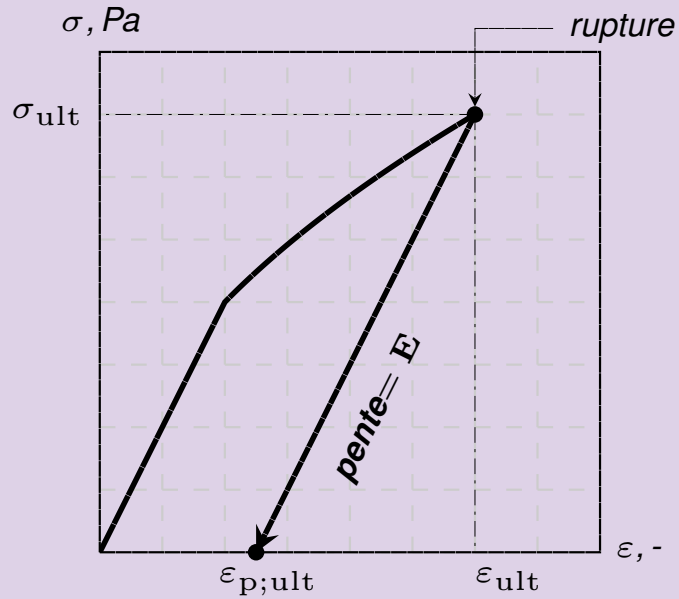


2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel ε_{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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*

$$\varepsilon_{\text{p;ult}} = \varepsilon_{\text{ult}} - \varepsilon_{\text{e}}^{1-n}\varepsilon_{\text{ult}}^{n} \tag{18}$$

- *Le taux $\varepsilon_{\text{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*

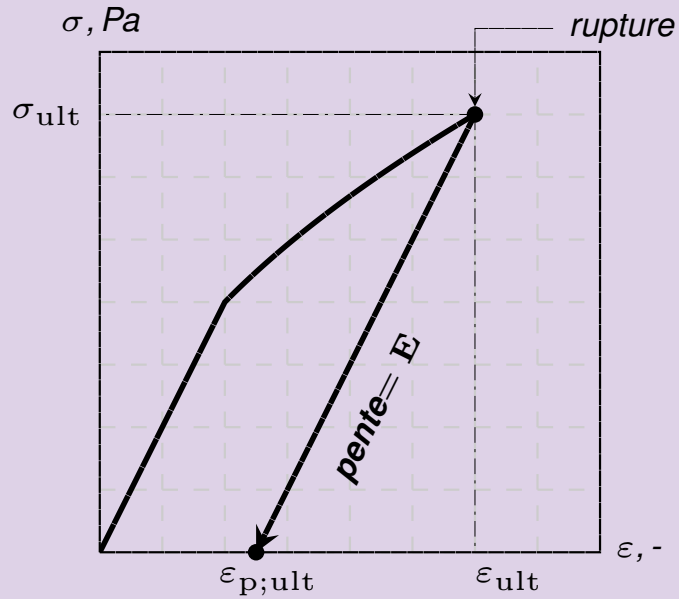


2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*

$$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}} - \varepsilon_{\mathrm{e}}^{1-n}\varepsilon_{\mathrm{ult}}^{n} \tag{18}$$

  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*

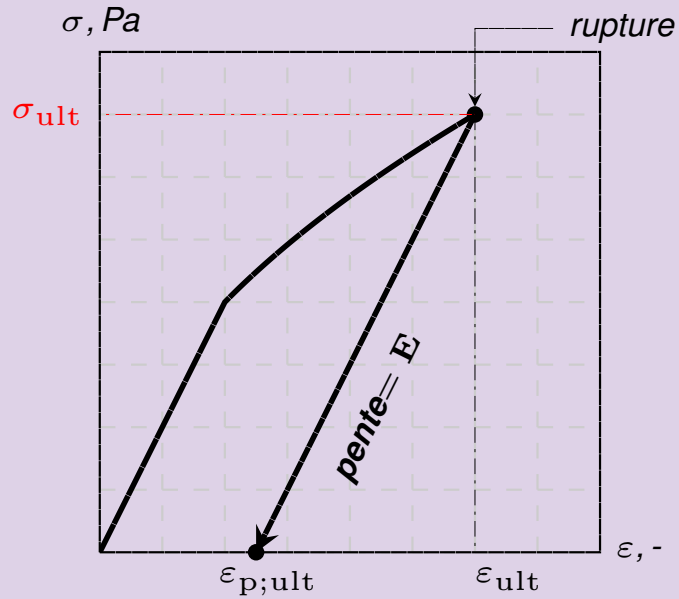


2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*

$$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}} - \varepsilon_{\mathrm{e}}^{1-n}\varepsilon_{\mathrm{ult}}^{n} \tag{18}$$

  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ est ainsi le **plus grand taux de déformation** qu'on peut induire de façon **permanente** dans un échantillon !*



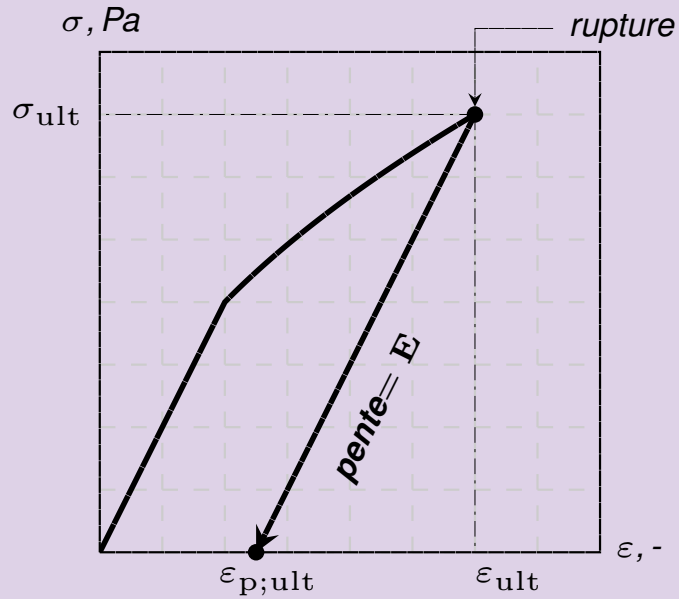
***ATTENTION :** Il ne faut pas confondre la contrainte de traction ultime σ_{ult} et la résistance R_{m} qui sera introduite au trspt. 2.6.1 et qui représente la force maximale qu'un échantillon de traction de section initiale unité peut supporter sans rompre (cf. trspt. 2.6.3).*

2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*

$$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}} - \varepsilon_{\mathrm{e}}^{1-n}\varepsilon_{\mathrm{ult}}^{n} \tag{18}$$

  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ 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 σ_{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).*

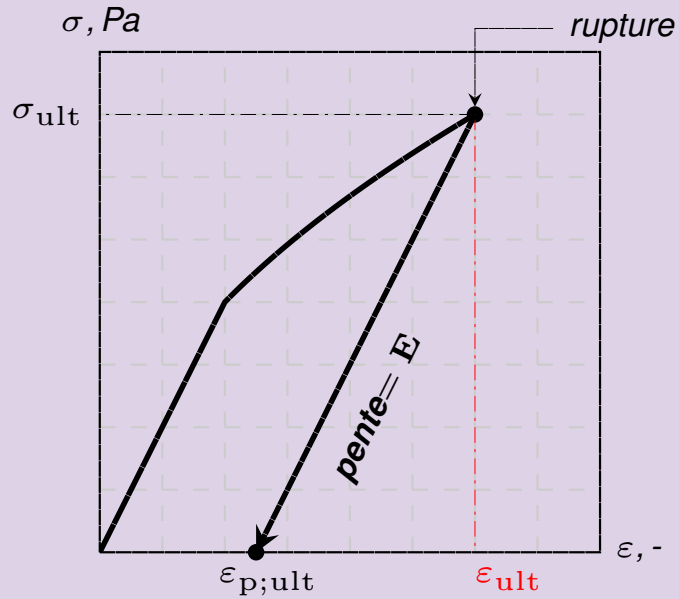
▸ Que faire si votre client demande $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$?

2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*

$$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}} - \varepsilon_{\mathrm{e}}^{1-n}\varepsilon_{\mathrm{ult}}^{n} \tag{18}$$

  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ 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 σ_{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).*

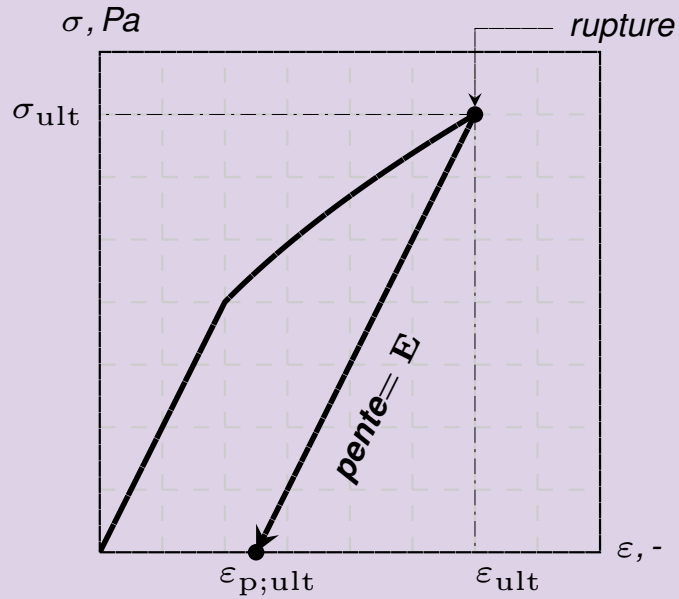
▸ Exo 3, série 1 : notion de déformabilité en élasticité/plasticité, calcul des forces

2.4.3 Contrainte de traction ultime

- *Dans une expérience de traction, il existe un taux de déformation réel $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$, 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 σ_{ult}.*
- *Depuis la situation de rupture, la relaxation amène l'échantillon à un état de déformation permanente caractérisé par le taux réel :*

$$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}} - \varepsilon_{\mathrm{e}}^{1-n}\varepsilon_{\mathrm{ult}}^{n} \tag{18}$$

  - *Le taux $\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$ 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 σ_{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 necessité du recuit

Programme de la seconde partie

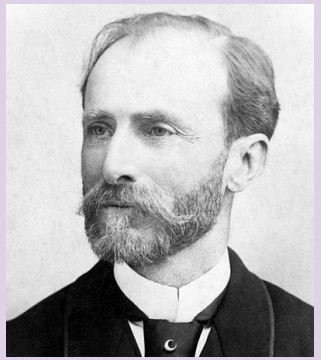
5. 5. Variation des dimensions latérales en plasticité
6. 6. La force de traction et la contrainte nominale
7. 7. L'inversion de la fonction de traction, applications

2.5.1 Variation des dimensions latérales en plasticité

- *En régime élastique, les variations des dimensions latérales et du volume de l'échantillon obeissent aux lois de Poisson (11), (12) et (13) :*

$$\begin{aligned} r &= r_0 \mathbf{e}^{-\nu\varepsilon} \\ S &= S_0 \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon} \\ V &= V_0 \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon} \end{aligned}$$

- *En régime plastique et à l'instar de la loi de Hooke (10), 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)



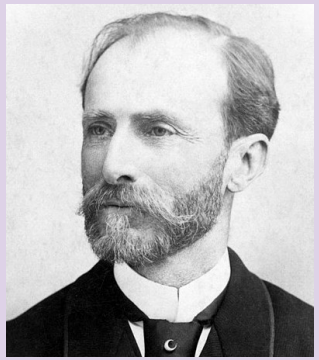
Heinrich Hencky (1885-1951)

2.5.1 Variation des dimensions latérales en plasticité

- *En régime élastique, les variations des dimensions latérales et du volume de l'échantillon obeissent aux lois de Poisson (11), (12) et (13) :*

$$\begin{aligned} r &= r_0 \mathbf{e}^{-\nu\varepsilon} \\ S &= S_0 \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon} \\ V &= V_0 \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon} \end{aligned}$$

- *En régime plastique et à l'instar de la loi de Hooke (10), 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 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec V_{e}, le volume en limite élastique .

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} \qquad \varepsilon > \varepsilon_e \tag{20}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec V_{e}, le volume en limite élastique .

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} \quad \text{si} \quad \varepsilon > \varepsilon_e \tag{20}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} \qquad \varepsilon > \varepsilon_e \tag{20}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} \mathrm{e}^{-\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} \mathrm{e}^{-\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} \mathbf{e}^{-\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{e}^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{e}^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{e}^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{e}^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{e}^{\left(\frac{1}{2}-\nu\right)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

⏩ Formules de Considère aux tableaux

2.5.2 Théorie de Considère en plasticité

- *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 :*

$$V = V_{\mathrm{e}},\ \varepsilon \geq \varepsilon_{\mathrm{e}}, \tag{19}$$

avec $V_{\mathrm{e}} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}} V_0$*, le volume en limite élastique (13).*

- *La conclusion de (19) est que*

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_{\mathrm{e}}}{V_0} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{20}$$

$$\frac{S}{S_0} = \frac{V}{V_0} \times \frac{l_0}{l} = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon} \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{21}$$

$$\frac{r}{r_0} = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \frac{1}{2}\varepsilon}, \quad \varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e}} \tag{22}$$

Exo 4, Série 2 : application de la théorie de Considère

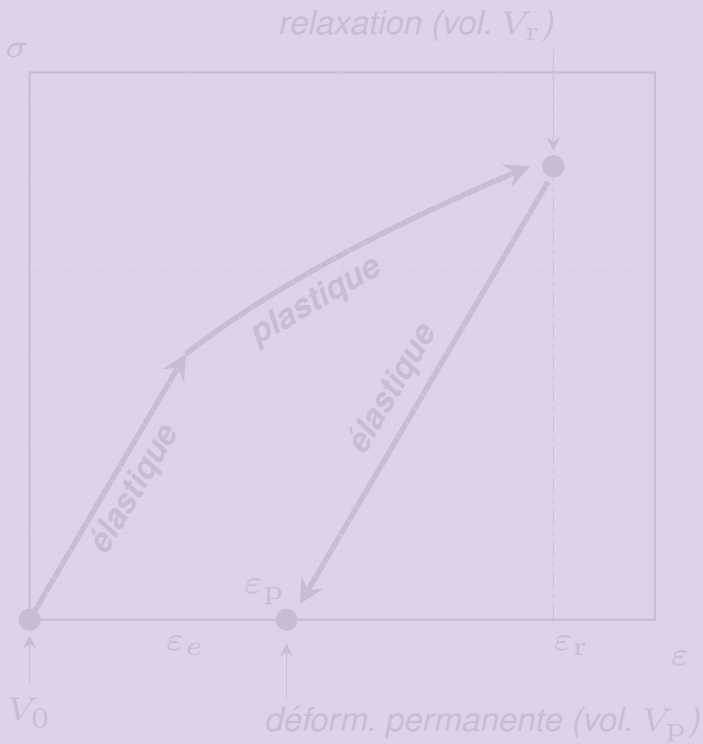
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante.* *Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



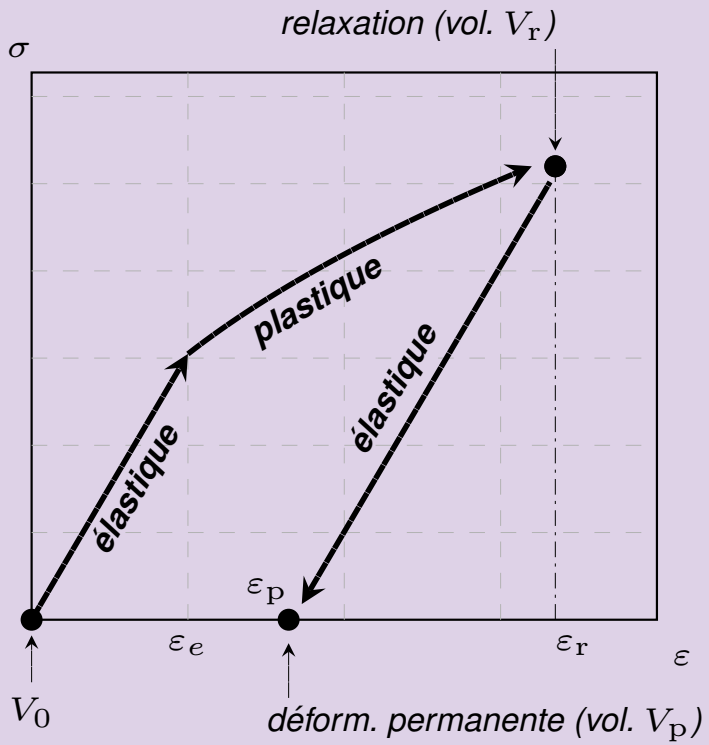
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante. Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



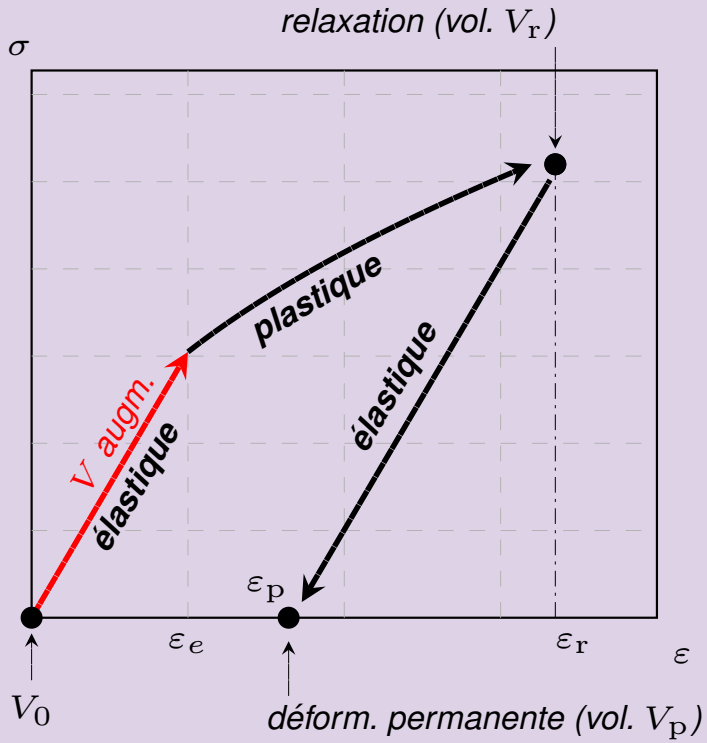
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante. Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



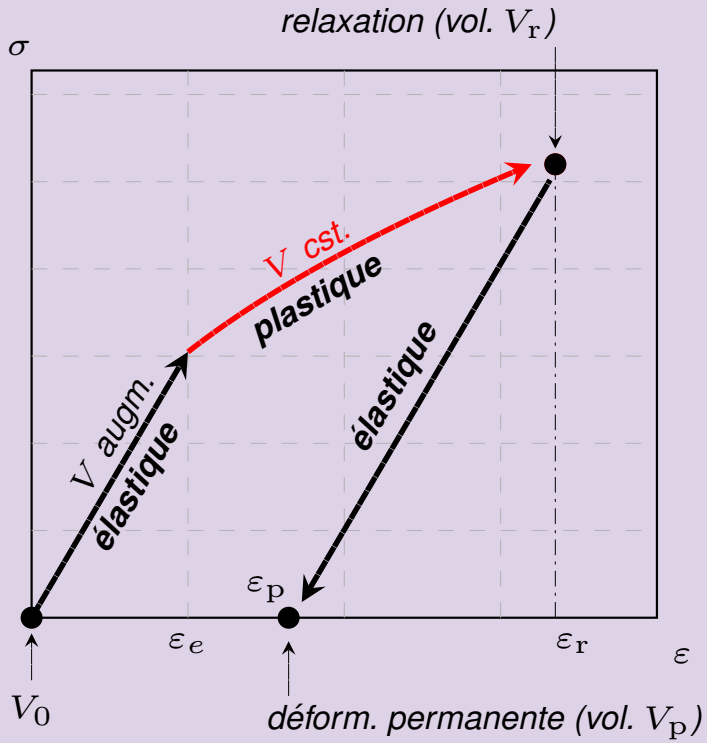
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante. Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



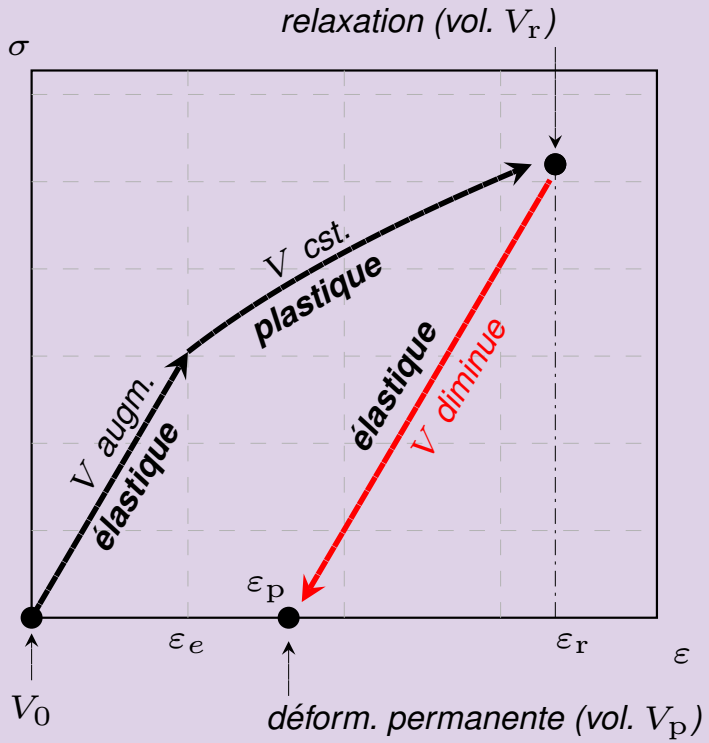
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante. Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



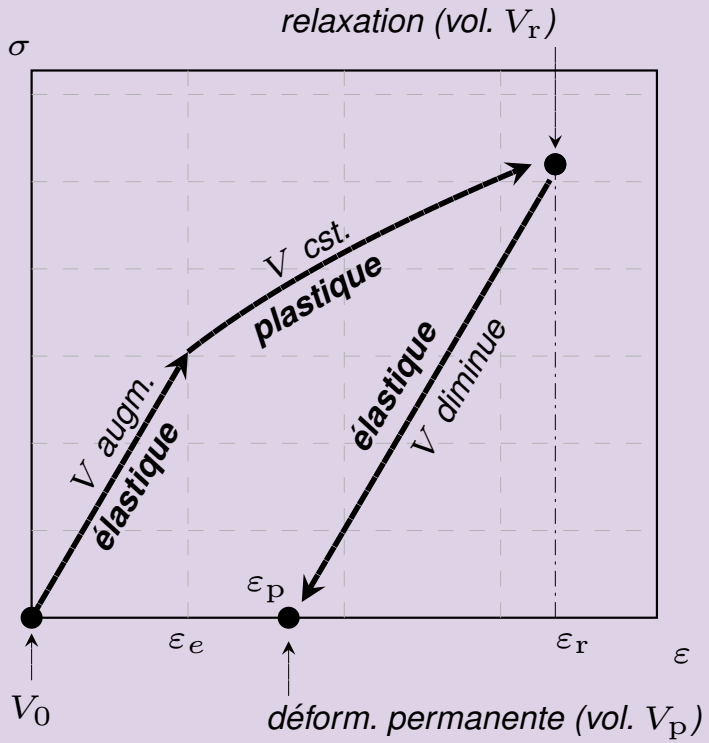
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante. Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



- *Il faudrait remplacer les rel. (20)-(22) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation* ***conserve*** *le volume de l'échantillon* $V_{\mathrm{p}} = V_0$.
- *Ces équations sont celles de Hencky. Elles sont plus compliquées que celles de Considère ... pour un chargement quelconque ... mais elles prédisent bien la conservation du volume (et pas un volume qui tend vers zéro).*

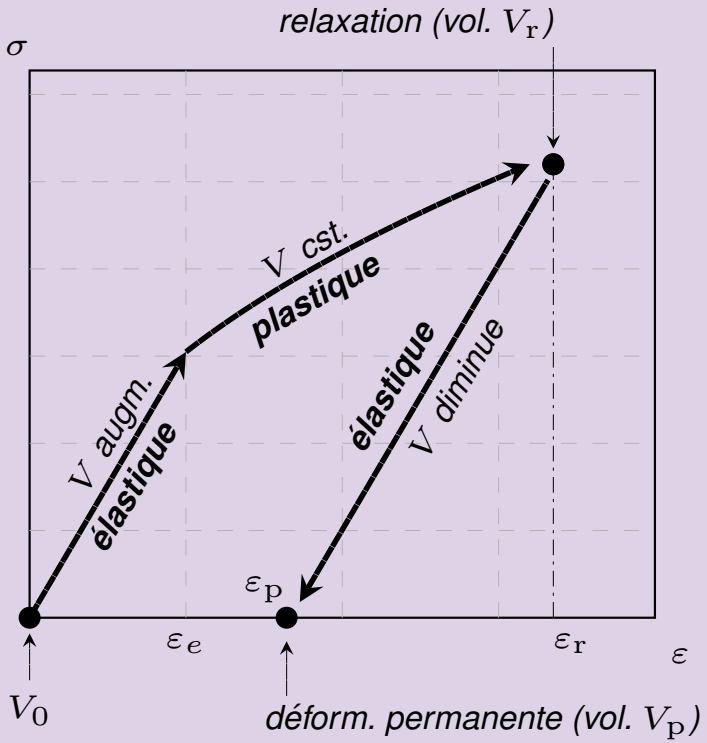
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante. Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



- *Il faudrait remplacer les rel. (20)-(22) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation* ***conserve*** *le volume de l'échantillon* $V_{\mathrm{p}} = V_0$.
- *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 (20)-(22).*

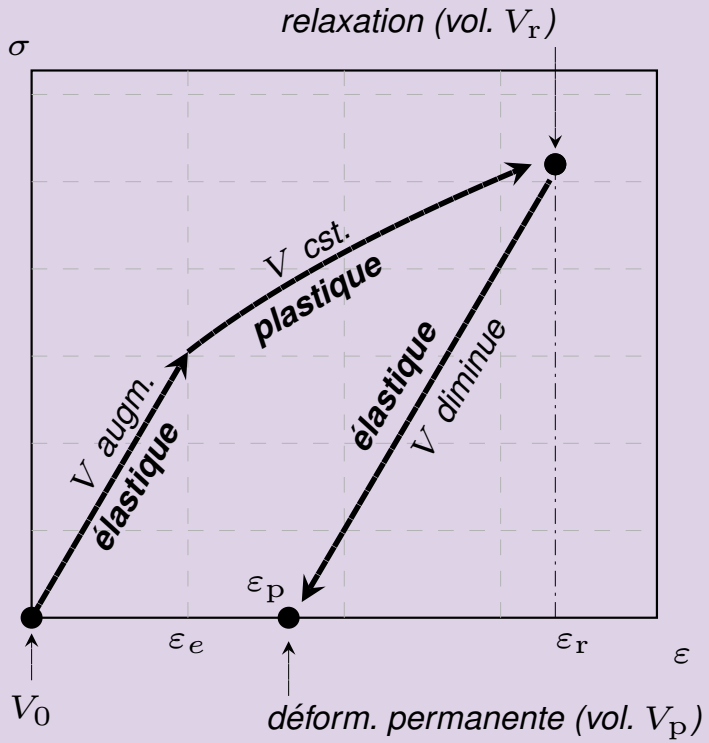
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante. Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



- *Il faudrait remplacer les rel. (20)-(22) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation* ***conserve*** *le volume de l'échantillon* $V_{\mathrm{p}} = V_0$.
- *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 (20)-(22).*

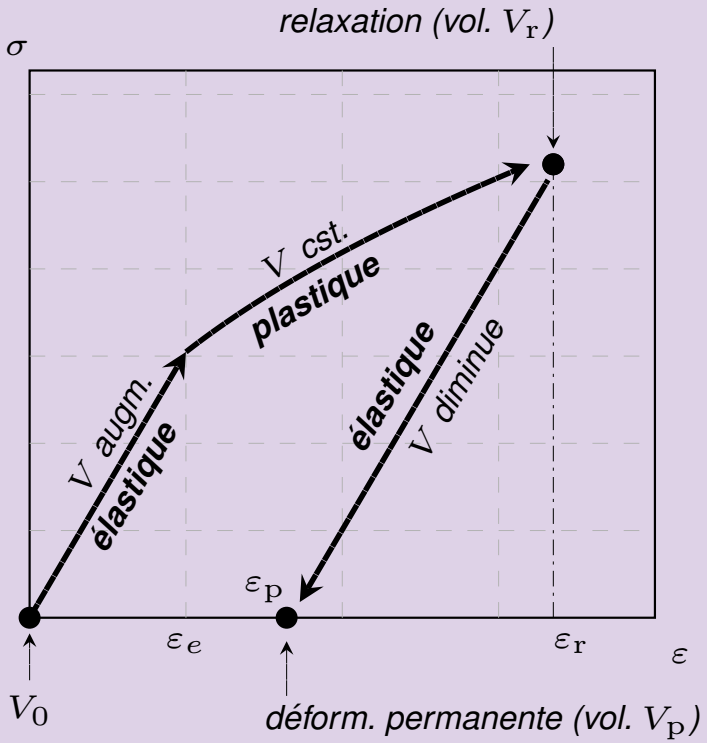
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante. Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



- *Il faudrait remplacer les rel. (20)-(22) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation* ***conserve*** *le volume de l'échantillon* $V_{\mathrm{p}} = V_0$.
- *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 (20)-(22).*

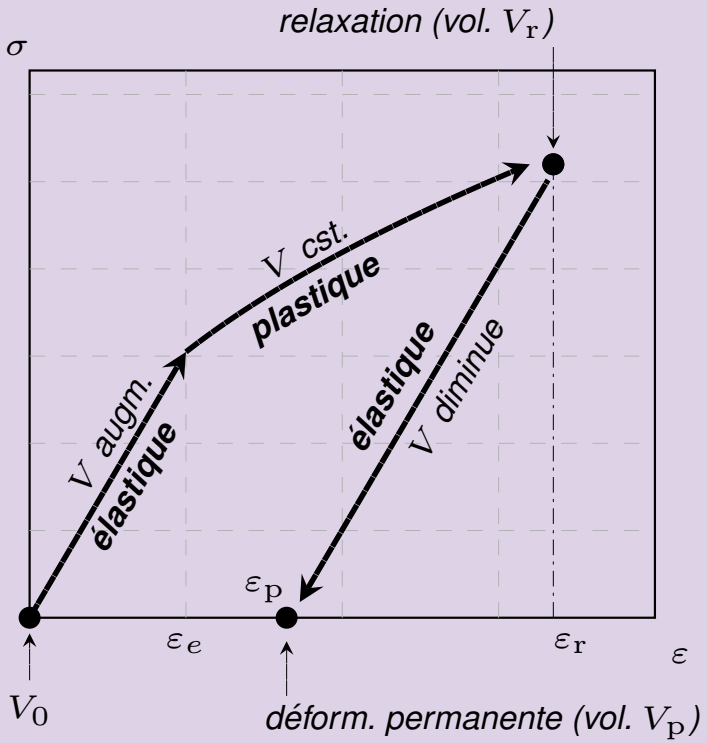
2.5.3 Inconsistance de la Théorie de Considère

- *La Théorie de Considère est en réalité inconsistante. Elle prédit en effet qu'un échantillon soumis à un cycle d'écrouissage et de relaxation diminue de volume (cf. exos) :*

$$V_{\mathrm{p}} < V_0.$$

et même que l'échantillon disparaît si on répète ce cycle indéfiniment :

$$V_0 \to 0.$$



- *Il faudrait remplacer les rel. (20)-(22) par des équations qui prédisent qu'un cycle écrouissage-relaxation* ***conserve*** *le volume de l'échantillon* $V_{\mathrm{p}} = V_0$.
- *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 (20)-(22).*

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 :*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle à S_0 : $F = S_0 \left[\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)\right]$.*
- *Le rapport $R = F/S_0$ est appelé contrainte nominale : $R{=}\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$*

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 :*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε 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 proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle à S_0 : $F = S_0\,[\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$.*
- *Le rapport $R = F/S_0$ est appelé contrainte nominale : $R{=}\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$*

Normaliser F par rapport à S_0 est une bonne idée, on obtient une quantité ne dépendant que de ε !

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

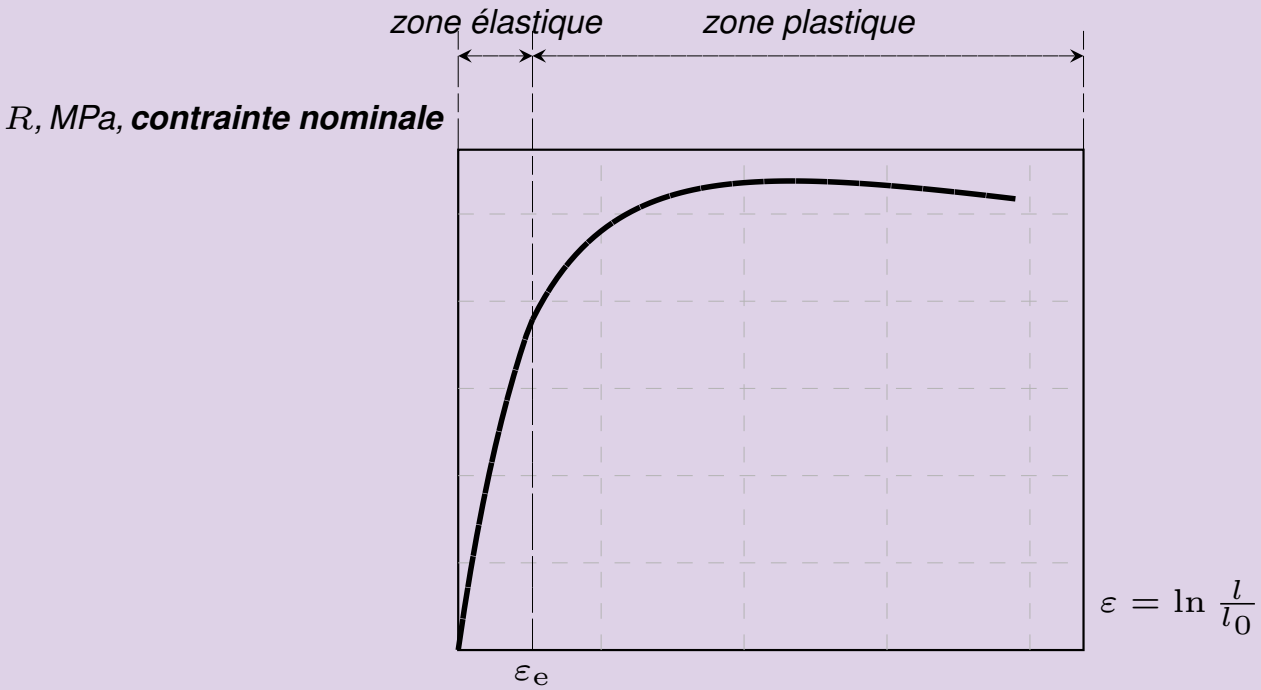
2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε 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 proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

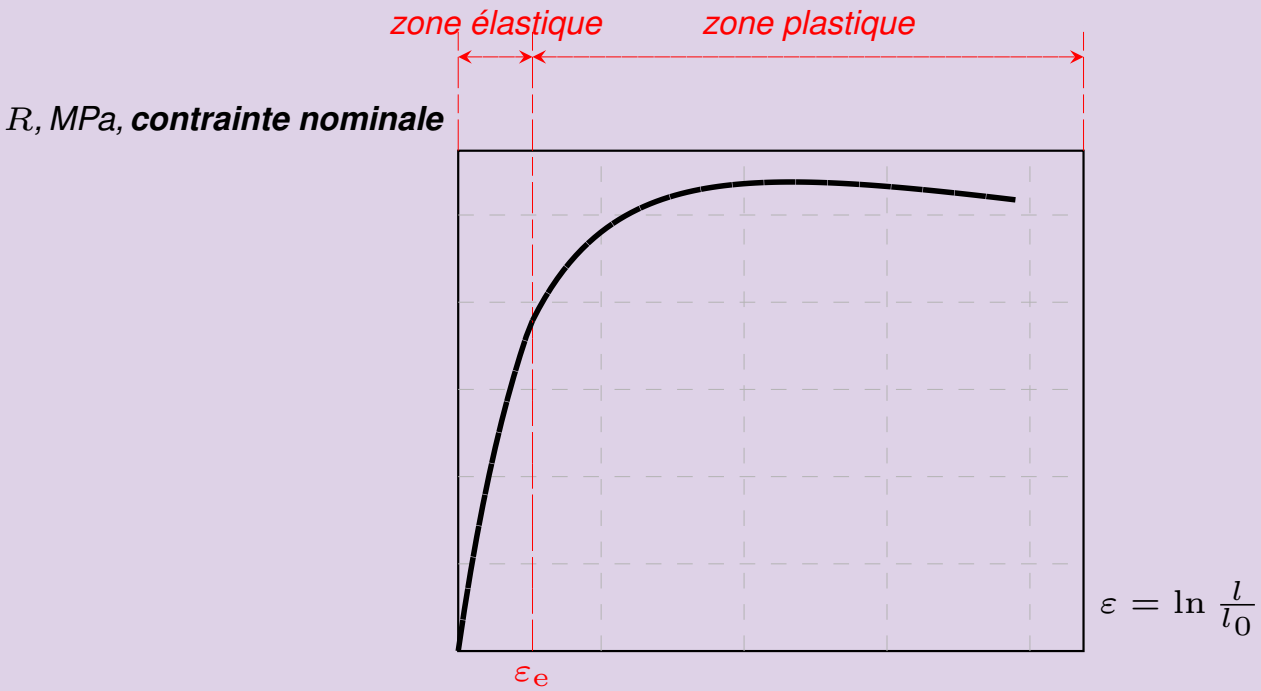
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

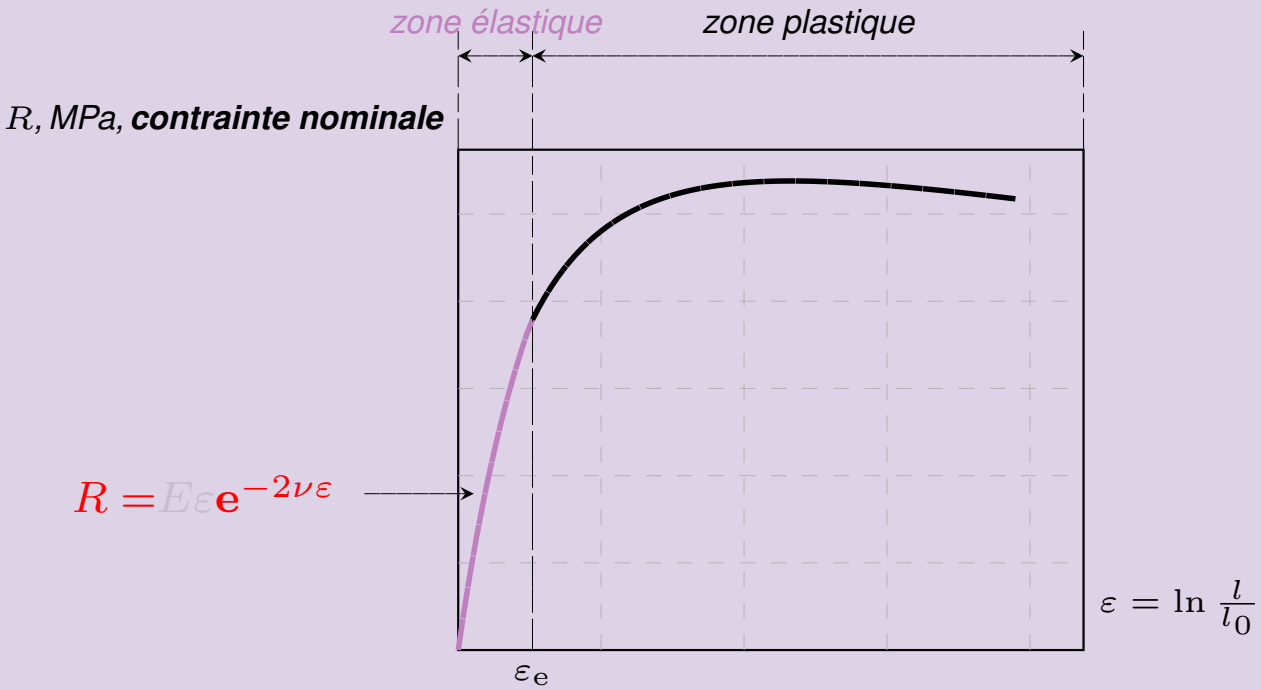
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

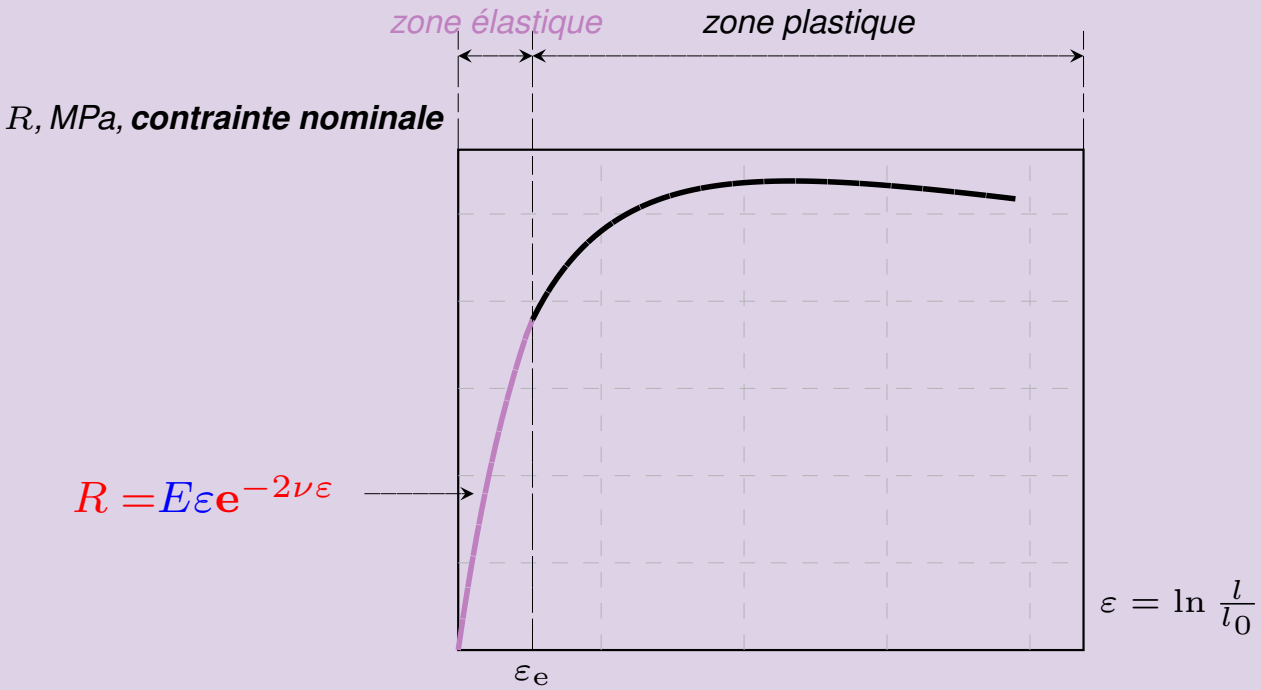
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

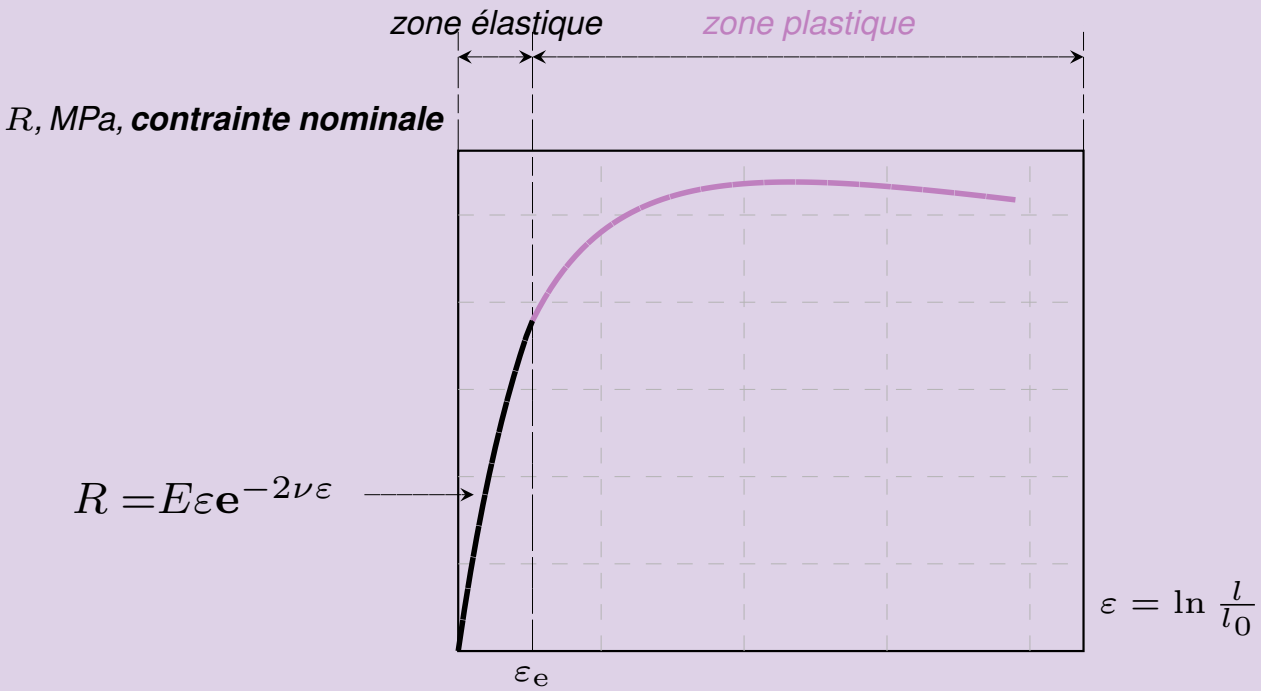
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

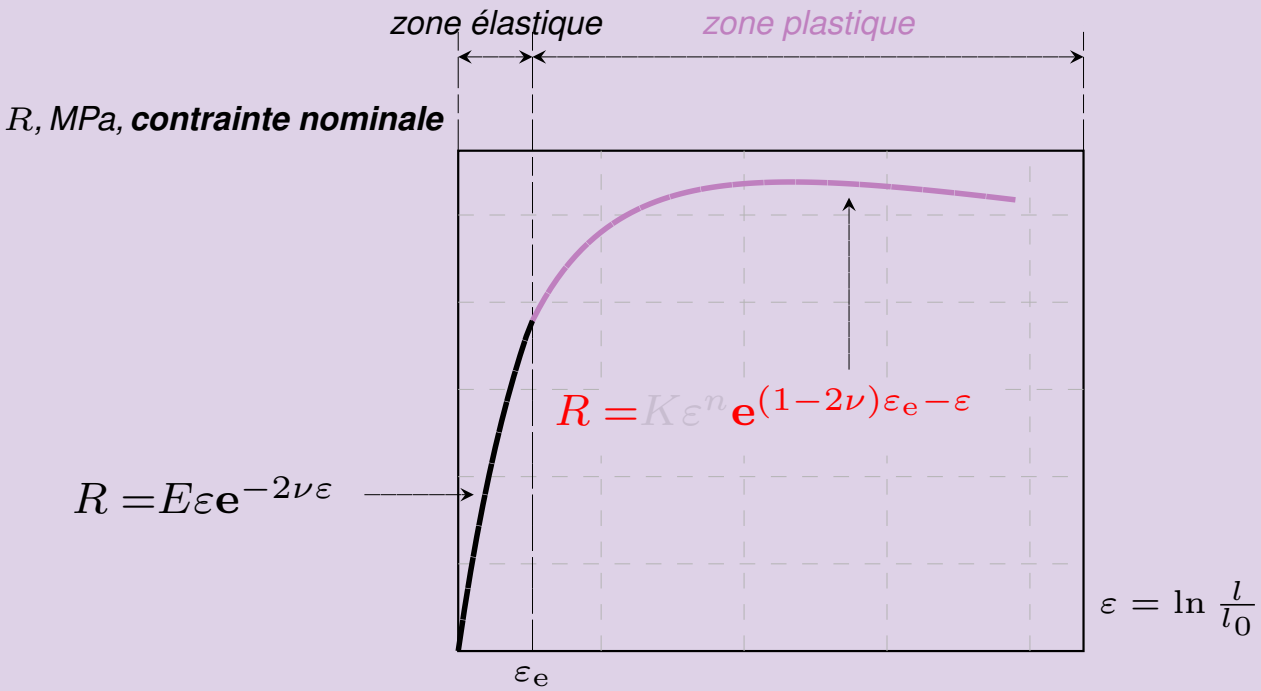
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

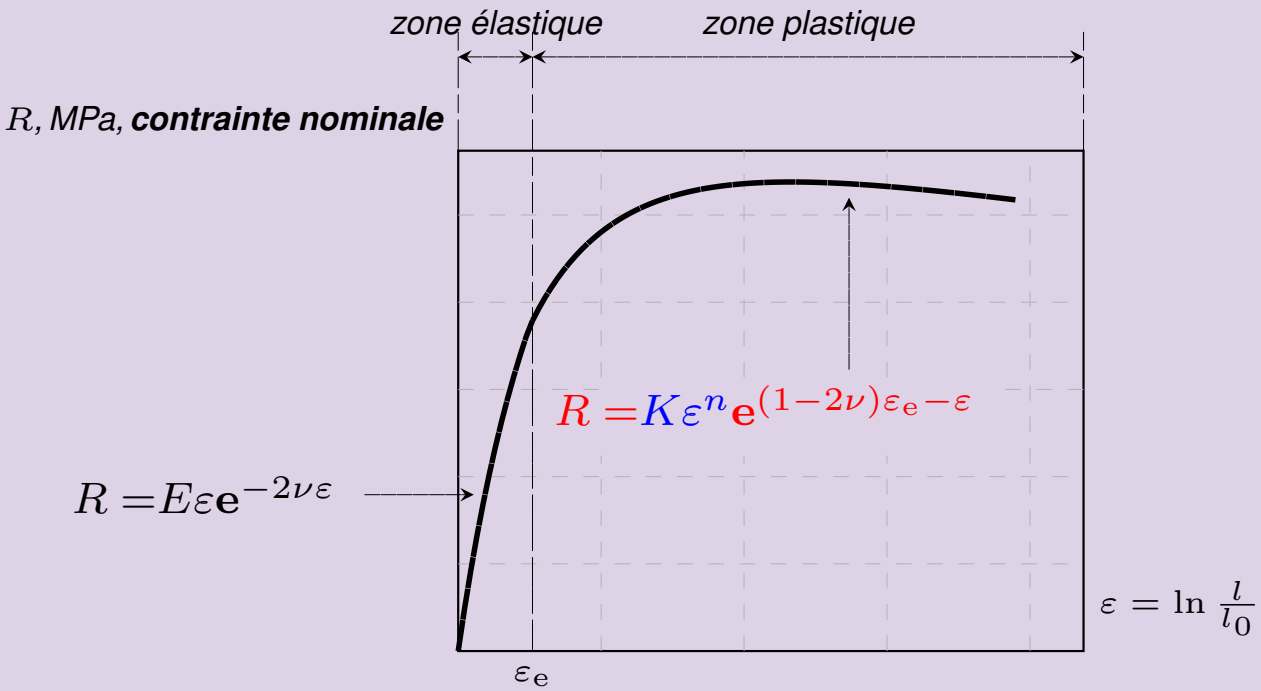
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

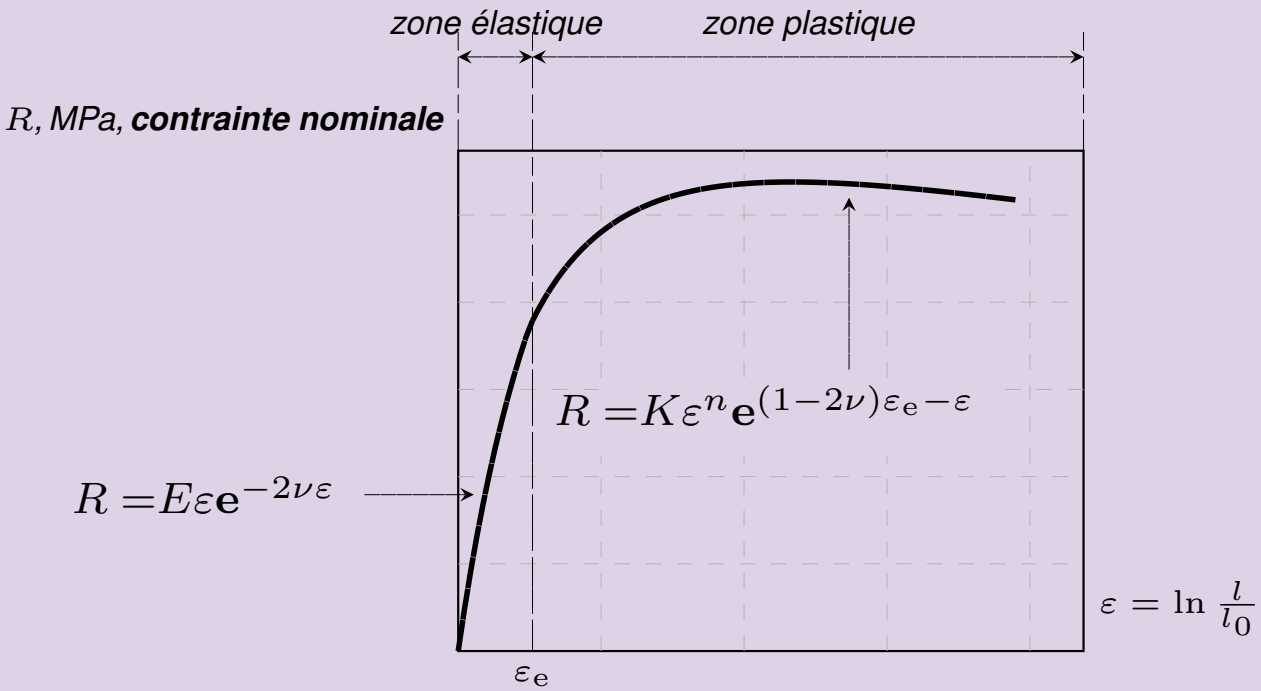
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

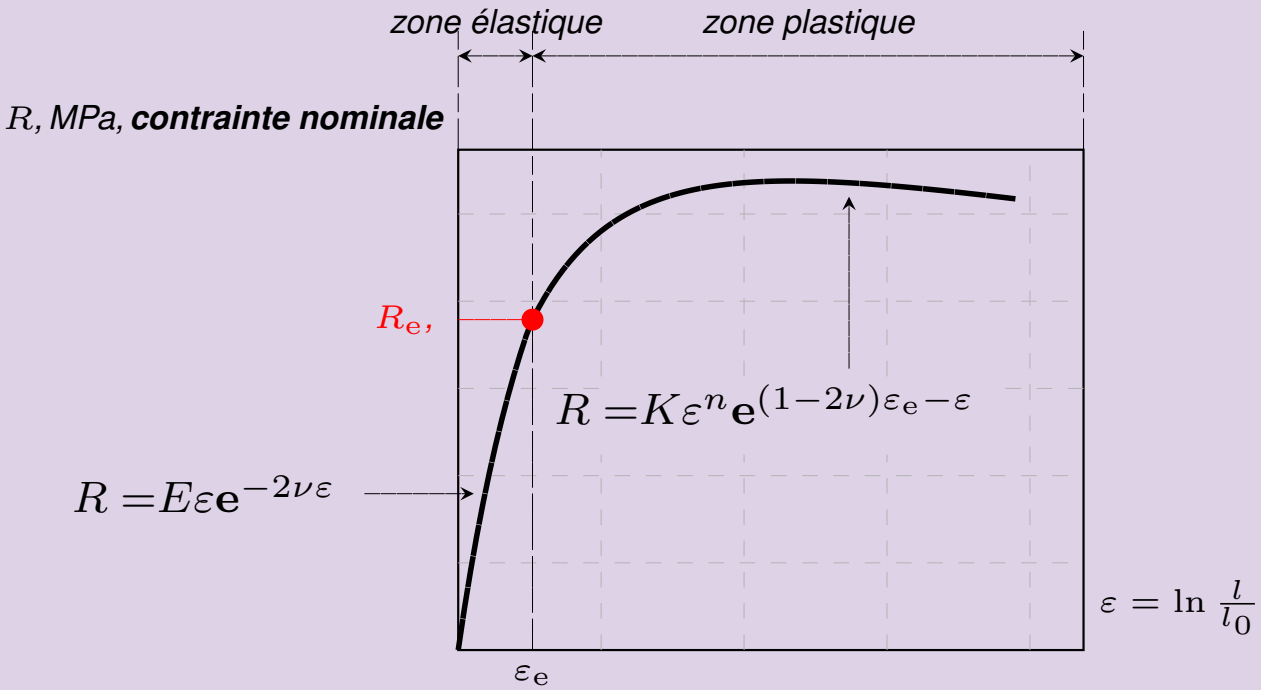
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

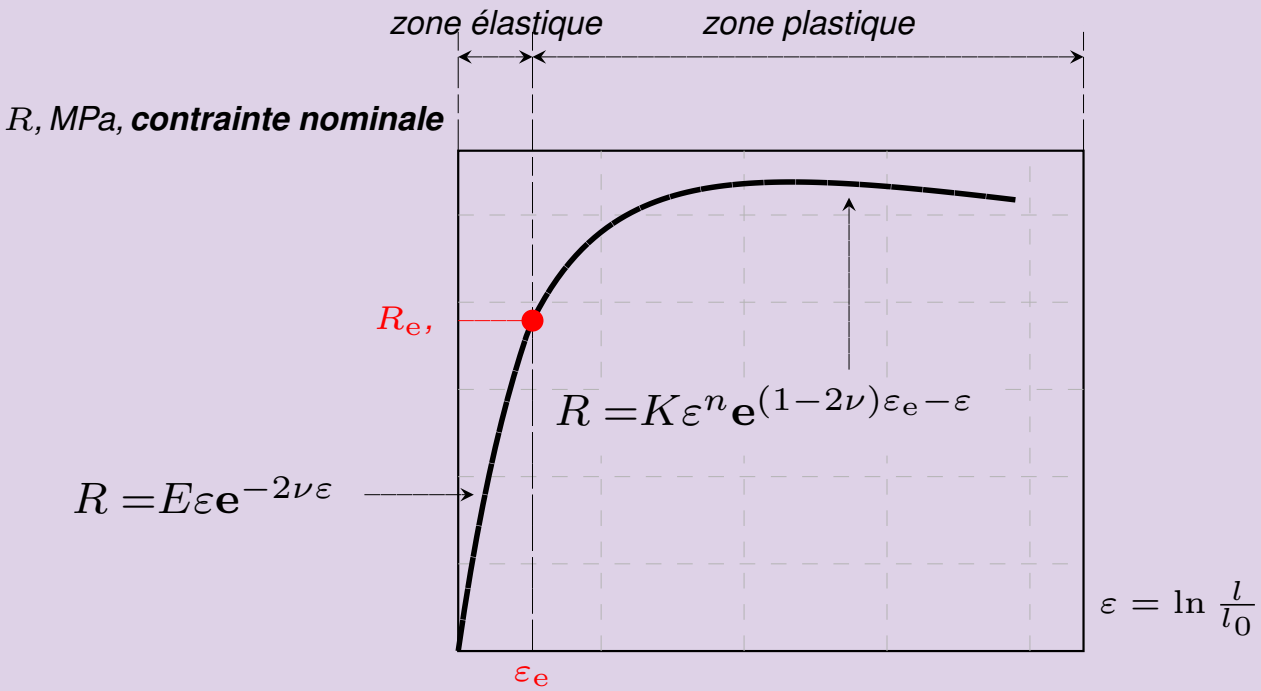
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

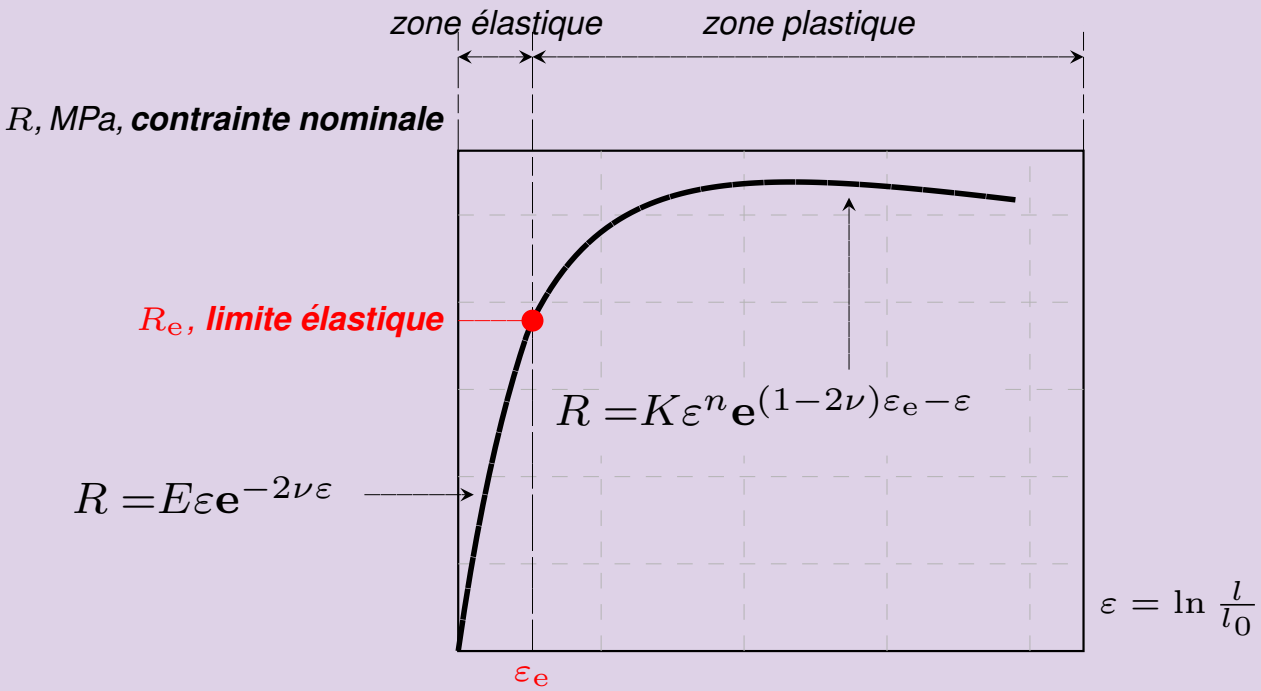
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

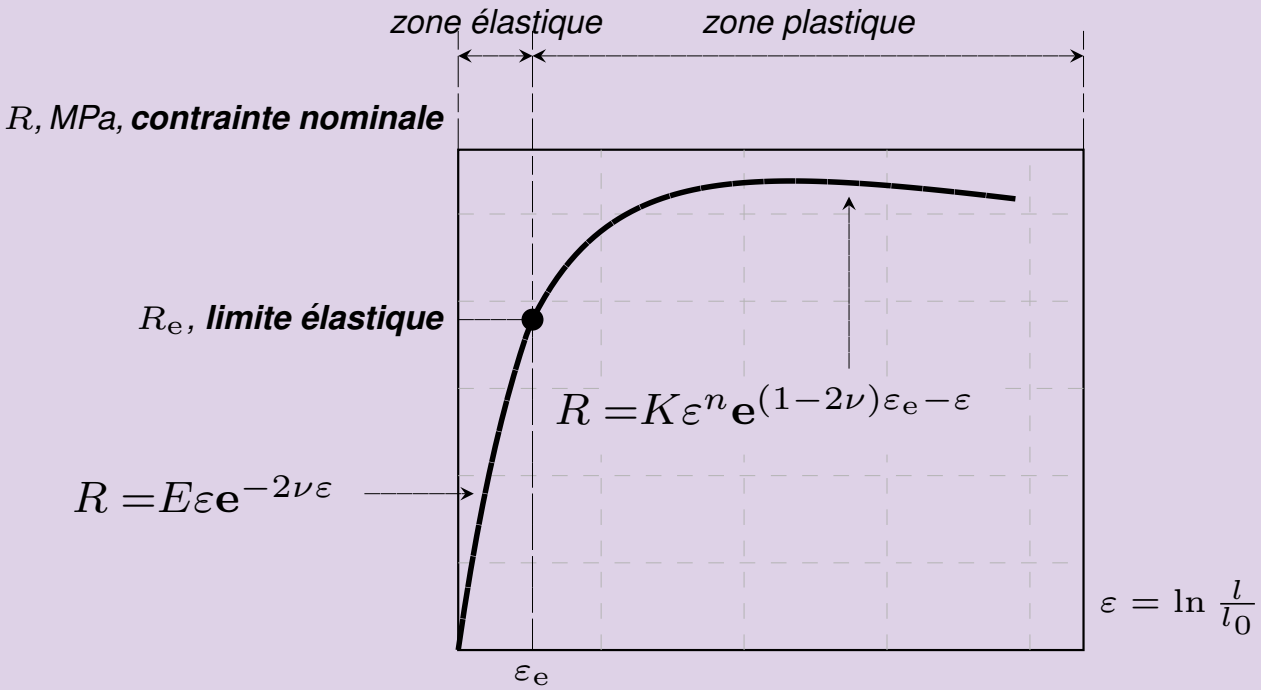
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

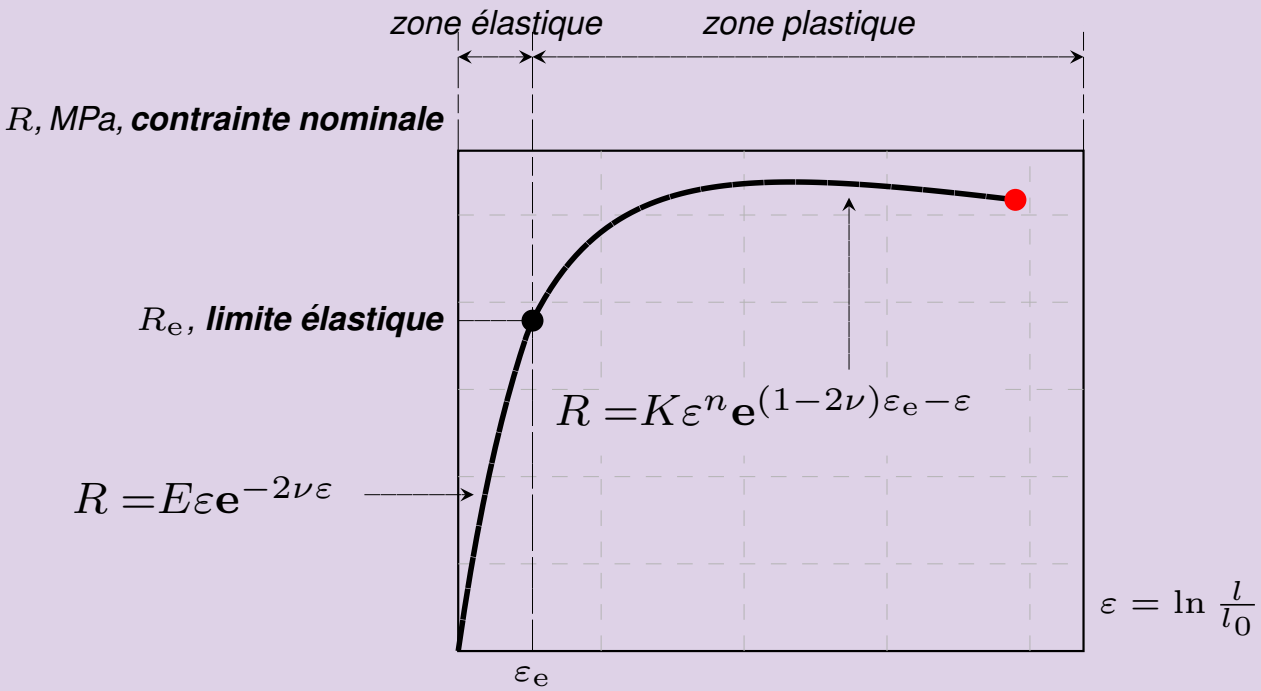
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

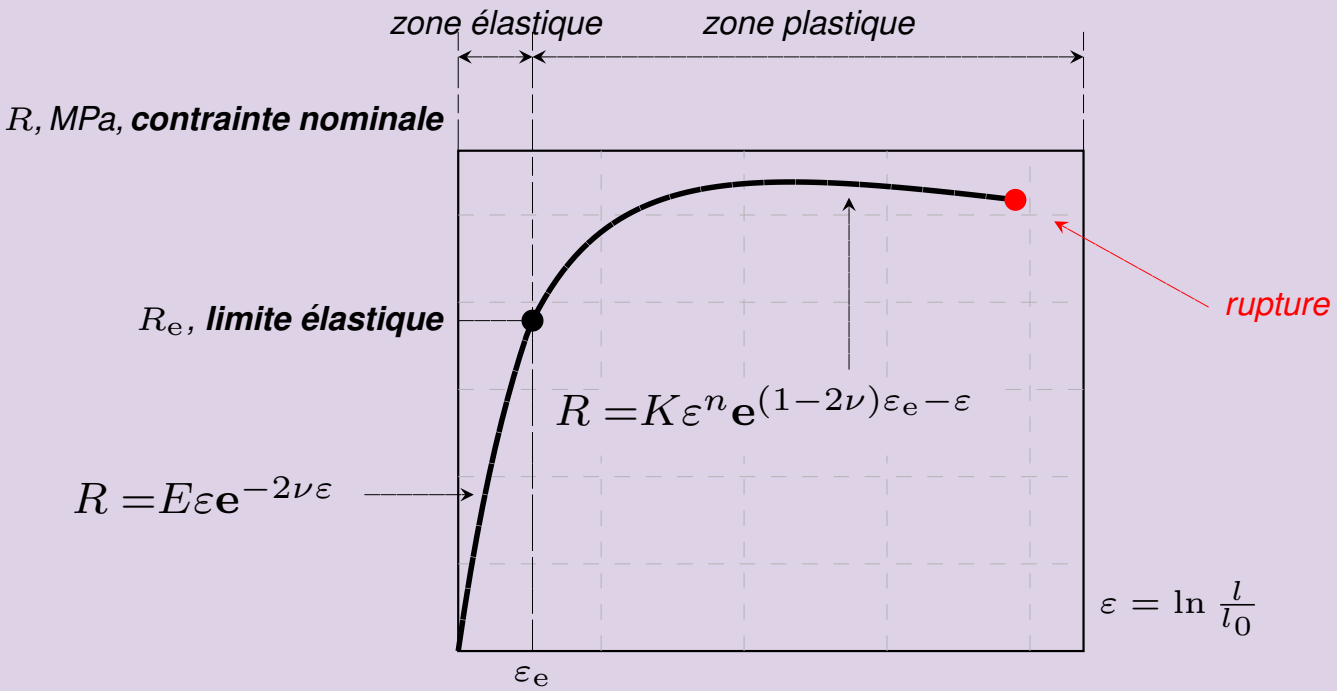
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

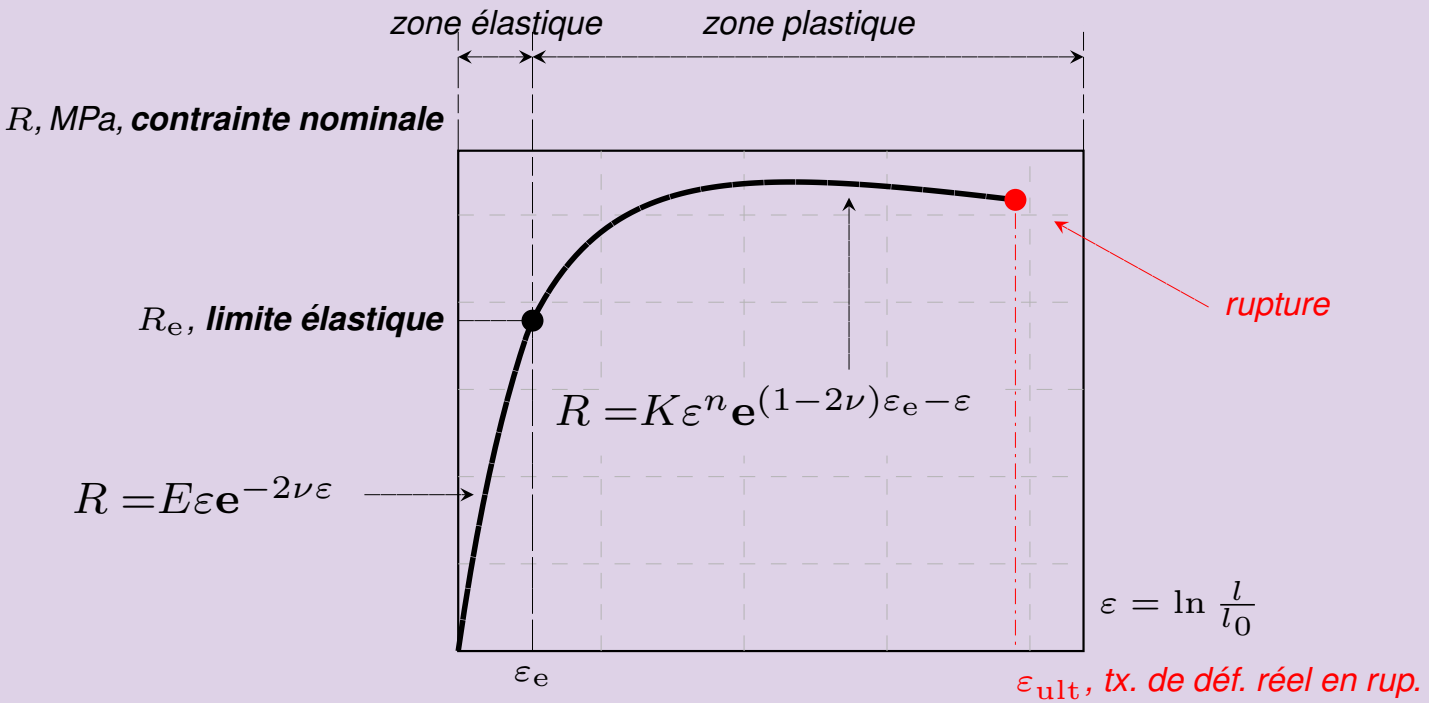
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

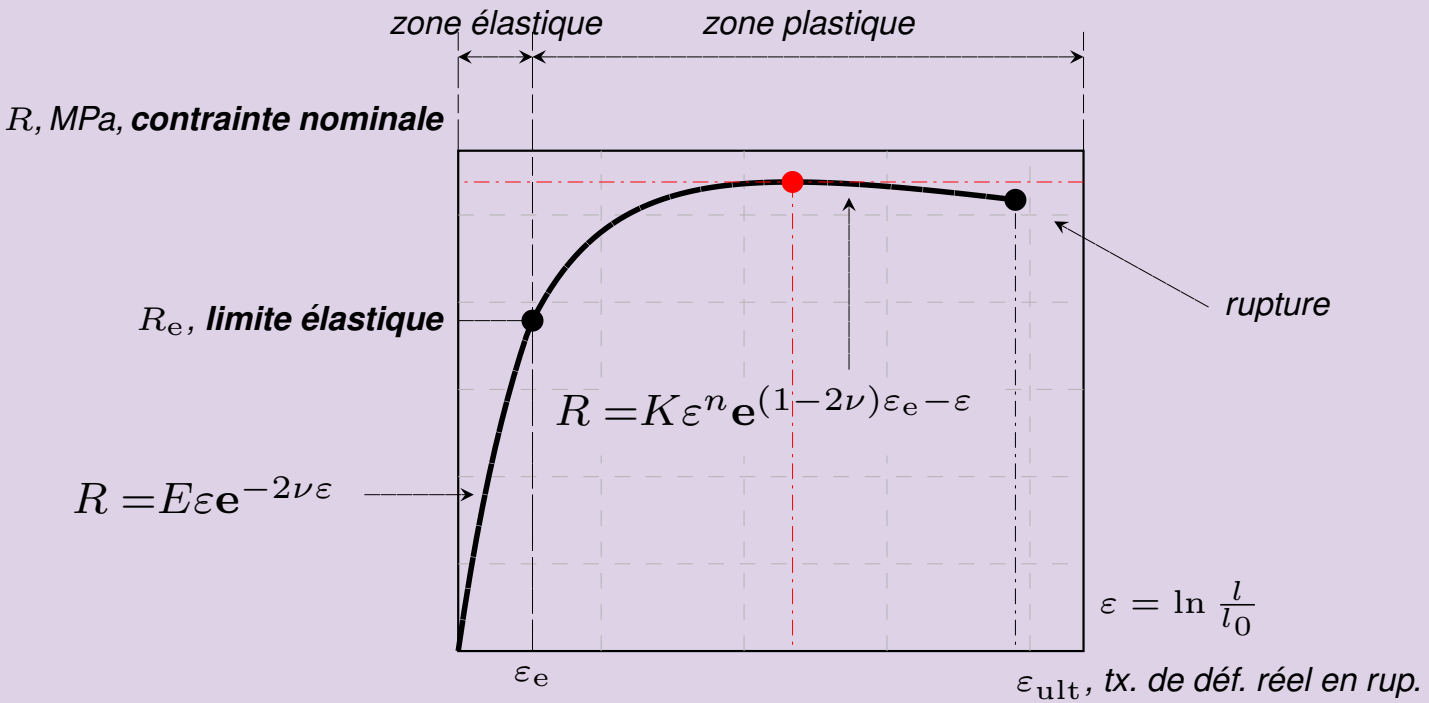
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

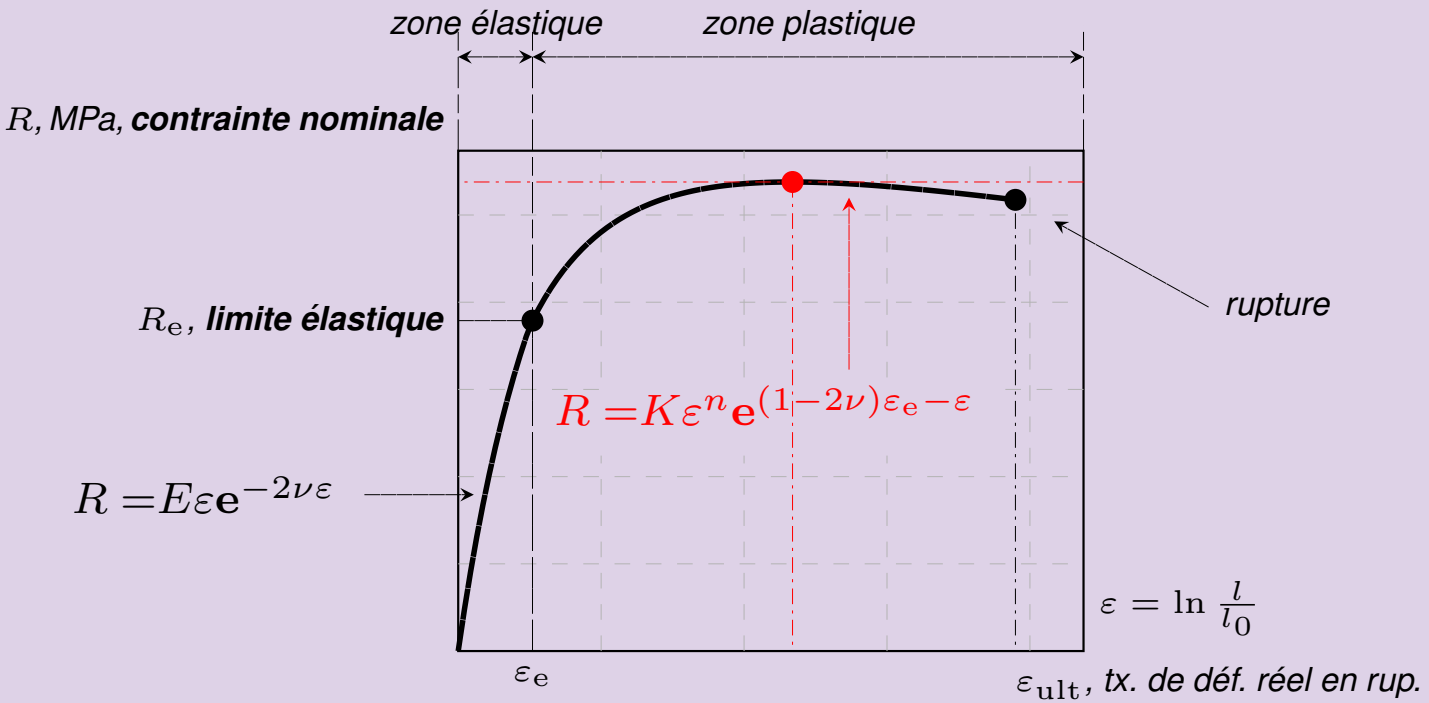
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

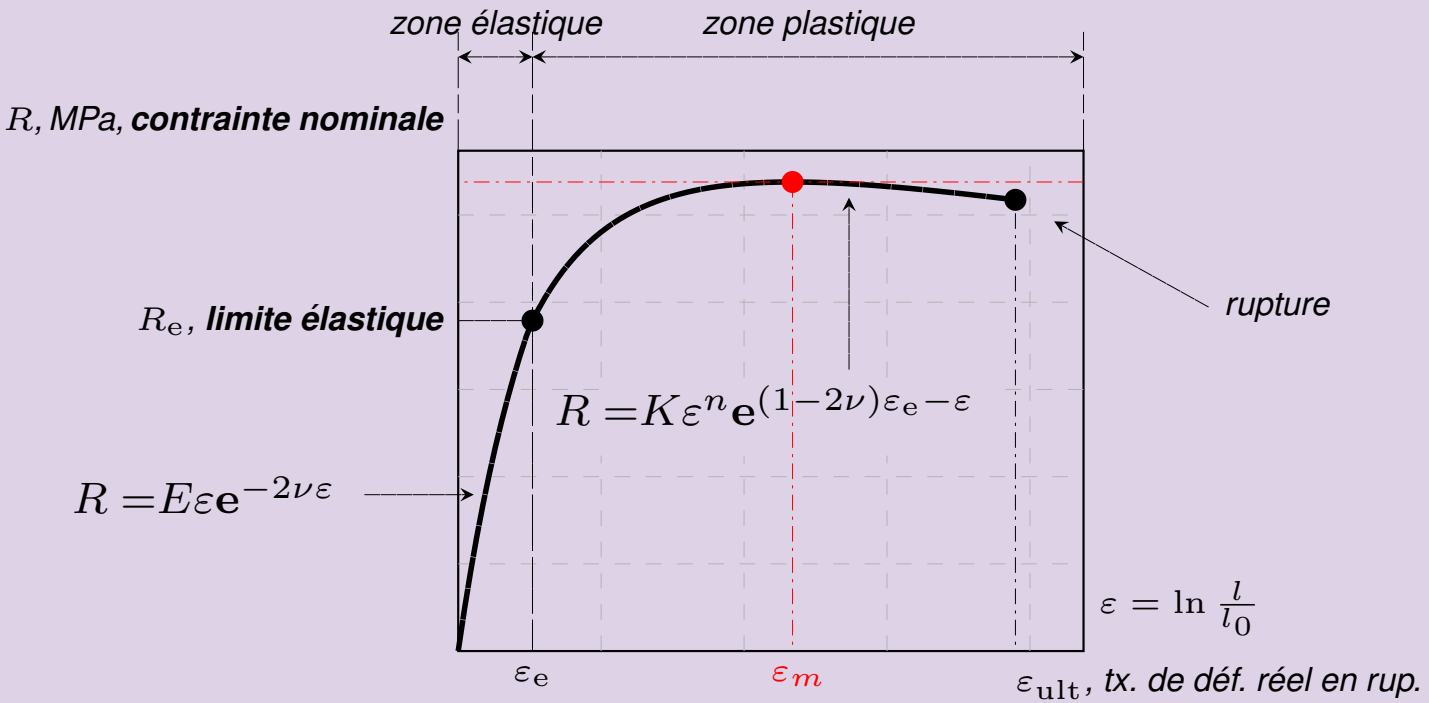
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e} - \varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

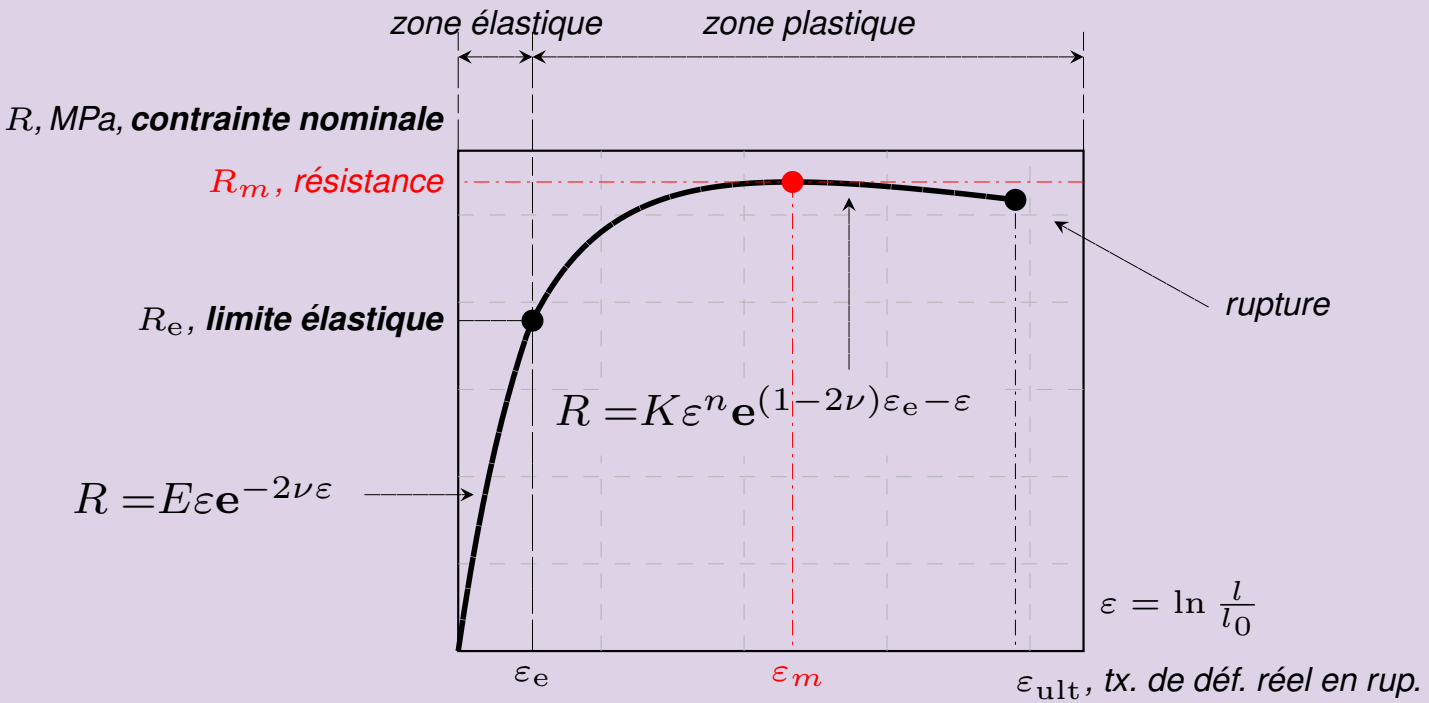
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

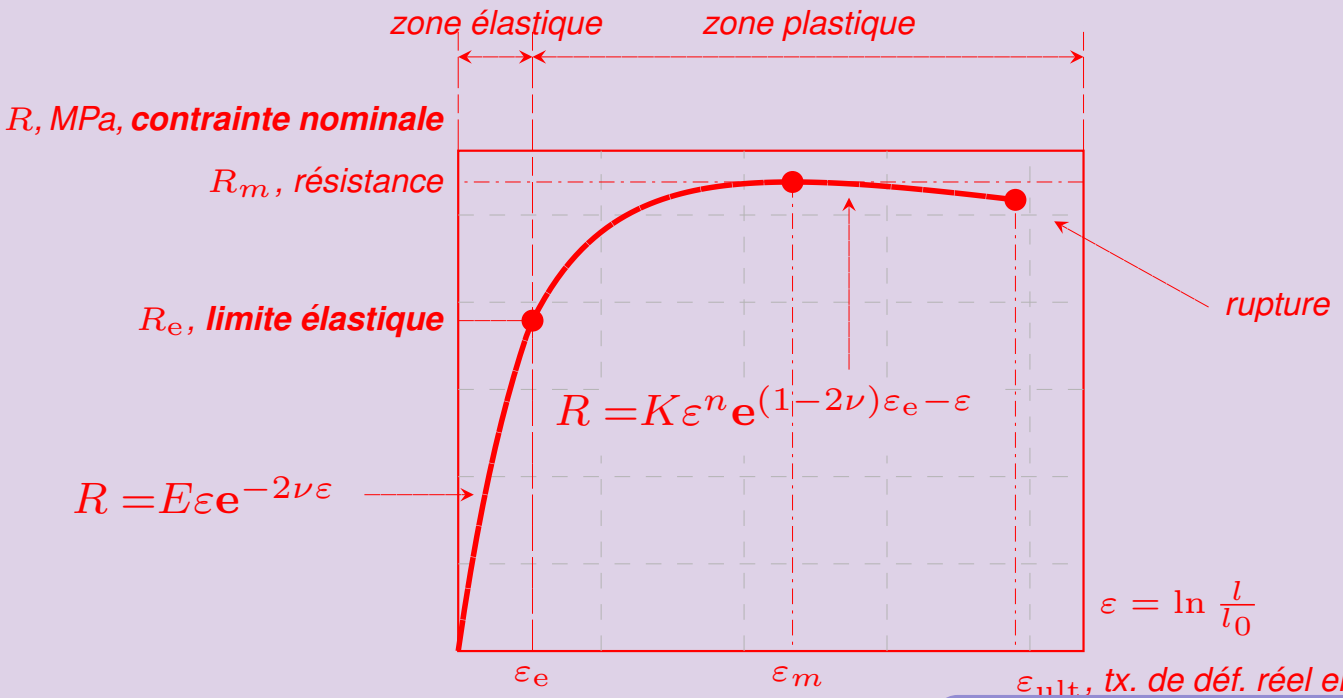
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle à S_0 : $F = S_0\,[\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$.*
- *Le rapport $R = F/S_0$ est appelé contrainte nominale : $R{=}\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$*

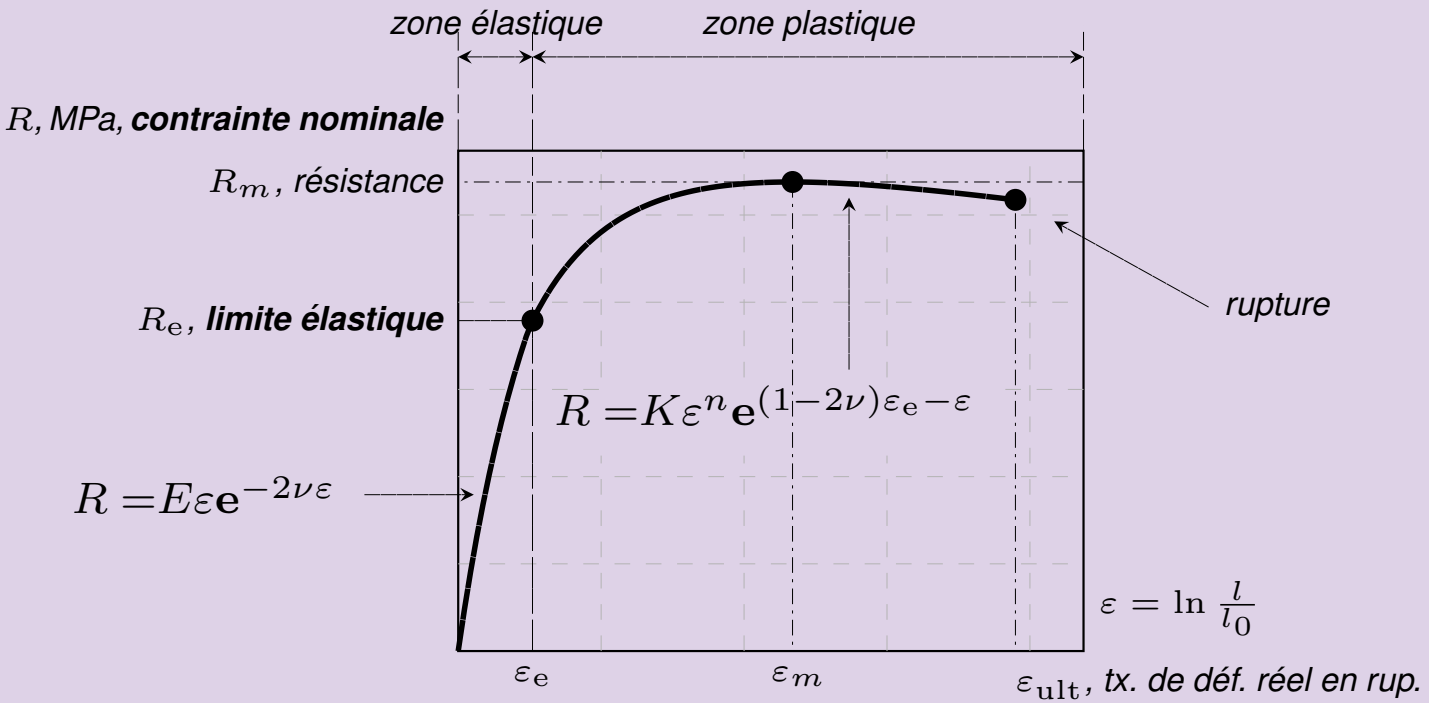


⏩ Courbe et fonction de traction aux tableaux

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

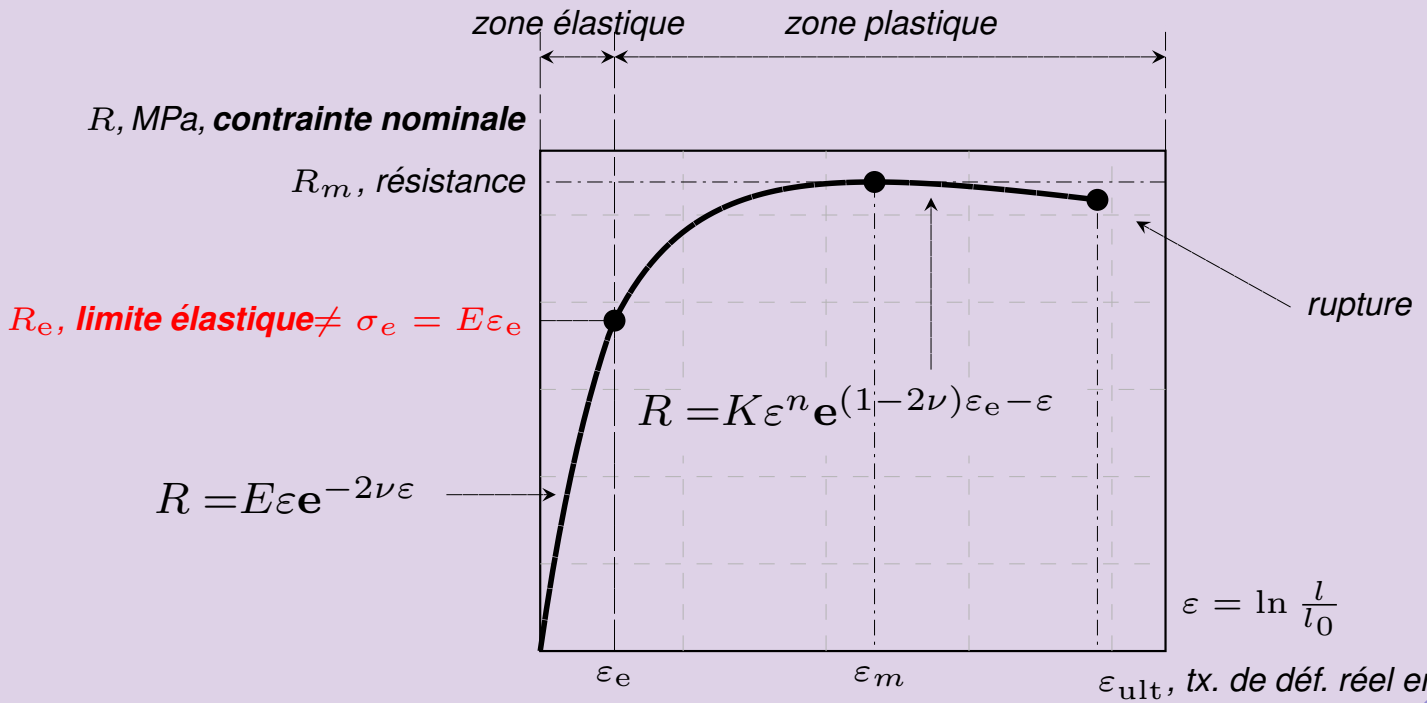
- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle à S_0 : $F = S_0\,[\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)]$.*
- *Le rapport $R = F/S_0$ est appelé contrainte nominale : $R{=}\sigma(\varepsilon)s(\varepsilon)$*

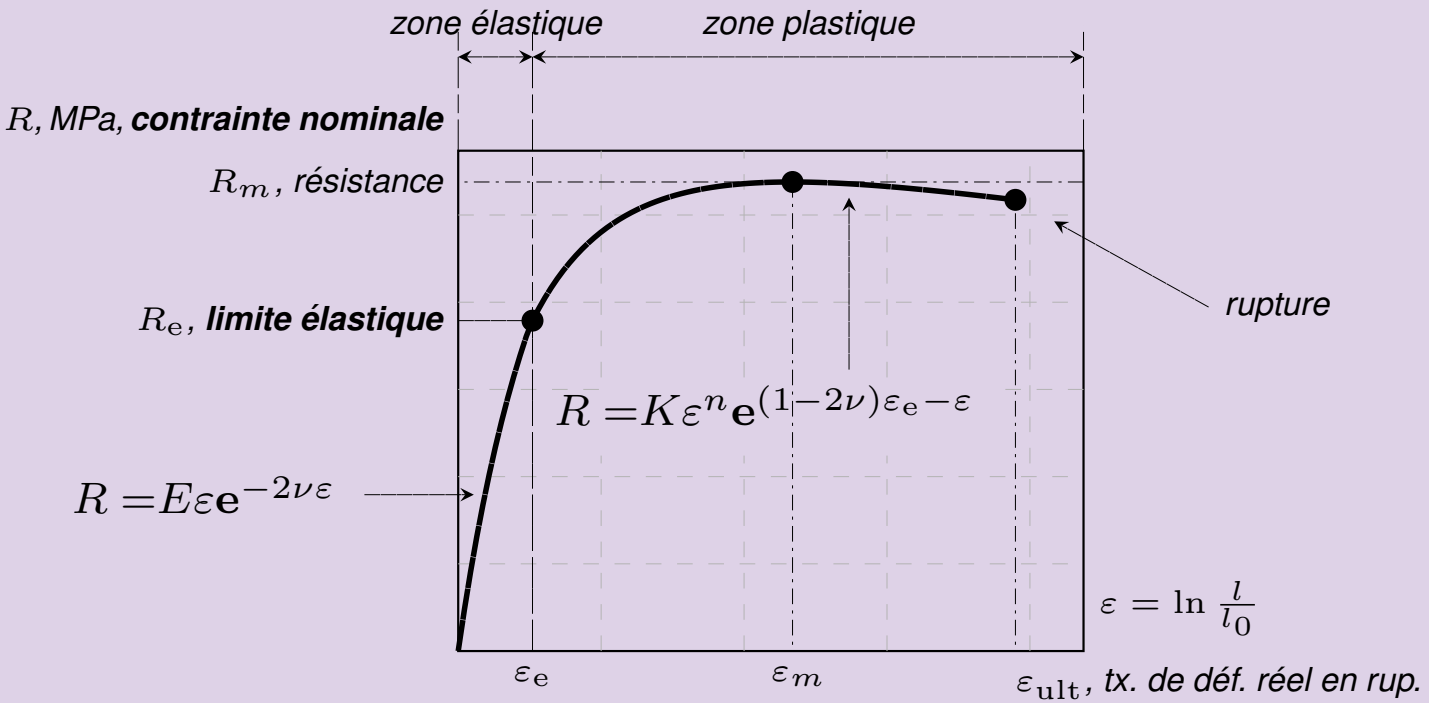


Tableaux 5cTER

1. La situation obtenue avec d'autres lois d'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.1 Courbe de traction - (appr. de Considère)

- *Les lois (Hooke, **Ludwik**[1], Poisson, Considère) donnent σ et S en fonction de ε et S_0 : $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ et $S = S_0 s(\varepsilon)$ avec $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ ou bien $s(\varepsilon) = \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_\mathrm{e}-\varepsilon}$.*
- *La force de traction $F = \sigma S$ est donc proportionelle 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'écrouissage (e.g. Swift) sera traitée en exercice.

2.6.2 Courbe de traction et résistance

(1) ***(Cas général)*** *Si $\varepsilon_{\mathrm{e}} < n \leq \varepsilon_{\mathrm{ult}}$, alors la résistance est atteinte en phase d'écrouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau recuit et sous l'hyp. de Considère :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = n; \quad R_{\mathrm{m}} = K\left(\frac{n}{\mathrm{e}}\right)^{n} \mathrm{e}^{(1-2p)\varepsilon_{\mathrm{e}}}.$$

(2) ***(Cas matériau fragile)*** *Si $n > \varepsilon_{\mathrm{ult}}$ alors la résistance est atteinte à la **rupture**.*

(3) ***(Cas matériau dur)*** *Si $n < \varepsilon_{\mathrm{e}}$ alors la résistance est atteinte en **zone élastique** :*

2.6.2 Courbe de traction et résistance

(1) ***(Cas général)*** *Si $\varepsilon_{\mathrm{e}} < n \leq \varepsilon_{\mathrm{ult}}$, alors la résistance est atteinte en phase d'écrouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau recuit et sous l'hyp. de Considère :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = n; \quad R_{\mathrm{m}} = K \left(\frac{n}{\mathbf{e}}\right)^{n} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}.$$

(2) ***(Cas matériau fragile)*** *Si $n > \varepsilon_{\mathrm{ult}}$ alors la résistance est atteinte à la **rupture**.*

(3) ***(Cas matériau dur)*** *Si $n < \varepsilon_{\mathrm{e}}$ alors la résistance est atteinte en **zone élastique** :*

2.6.2 Courbe de traction et résistance

(1) ***(Cas général)*** *Si $\varepsilon_{\mathrm{e}} < n \leq \varepsilon_{\mathrm{ult}}$, alors la résistance est atteinte en phase d'écrouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau recuit et sous l'hyp. de Considère :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = n; \quad R_{\mathrm{m}} = K \left(\frac{n}{\mathbf{e}}\right)^{n} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}.$$

(2) ***(Cas matériau fragile)*** *Si $n > \varepsilon_{\mathrm{ult}}$ alors la résistance est atteinte à la* ***rupture****.*

(3) ***(Cas matériau dur)*** *Si $n < \varepsilon_{\mathrm{e}}$ alors la résistance est atteinte en* ***zone élastique*** *:*

⏩ Résistance aux tableaux

2.6.2 Courbe de traction et résistance

(1) ***(Cas général)*** *Si $\varepsilon_{\mathrm{e}} < n \leq \varepsilon_{\mathrm{ult}}$, alors la résistance est atteinte en phase d'écrouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau recuit et sous l'hyp. de Considère :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = n; \quad R_{\mathrm{m}} = K \left(\frac{n}{\mathbf{e}}\right)^{n} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}.$$

(2) ***(Cas matériau fragile)*** *Si $n > \varepsilon_{\mathrm{ult}}$ alors la résistance est atteinte à la **rupture**. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par σ_{ult} la contrainte de traction ultime réelle, on a :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}}; \quad R_{\mathrm{m}} = R(\varepsilon_{\mathrm{ult}}) = \sigma_{\mathrm{ult}} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon_{\mathrm{ult}}}$$

(3) ***(Cas matériau dur)*** *Si $n < \varepsilon_{\mathrm{e}}$ alors la résistance est atteinte en **zone élastique** :*

2.6.2 Courbe de traction et résistance

(1) ***(Cas général)*** *Si $\varepsilon_{\mathrm{e}} < n \leq \varepsilon_{\mathrm{ult}}$, alors la résistance est atteinte en phase d'écrouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau recuit et sous l'hyp. de Considère :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = n; \quad R_{\mathrm{m}} = K \left(\frac{n}{\mathbf{e}}\right)^{n} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}.$$

(2) ***(Cas matériau fragile)*** *Si $n > \varepsilon_{\mathrm{ult}}$ alors la résistance est atteinte à la* ***rupture****. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par σ_{ult} la contrainte de traction ultime réelle, on a*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}}; \quad R_{\mathrm{m}} = R(\varepsilon_{\mathrm{ult}}) = \sigma_{\mathrm{ult}} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon_{\mathrm{ult}}}$$

(3) ***(Cas matériau dur)*** *Si $n < \varepsilon_{\mathrm{e}}$ alors la résistance est atteinte en* ***zone élastique*** *:*

▸ Matériau fragile

2.6.2 Courbe de traction et résistance

(1) ***(Cas général)*** *Si $\varepsilon_{\mathrm{e}} < n \leq \varepsilon_{\mathrm{ult}}$, alors la résistance est atteinte en phase d'écrouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau recuit et sous l'hyp. de Considère :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = n; \quad R_{\mathrm{m}} = K \left(\frac{n}{\mathbf{e}}\right)^n \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}.$$

(2) ***(Cas matériau fragile)*** *Si $n > \varepsilon_{\mathrm{ult}}$ alors la résistance est atteinte à la **rupture**. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par σ_{ult} la contrainte de traction ultime réelle, on a*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}}; \quad R_{\mathrm{m}} = R(\varepsilon_{\mathrm{ult}}) = \sigma_{\mathrm{ult}} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon_{\mathrm{ult}}}$$

(3) ***(Cas matériau dur)*** *Si $n < \varepsilon_{\mathrm{e}}$ alors la résistance est atteinte en **zone élastique** :*

$$\text{si } \varepsilon_{\mathrm{e}} < \frac{1}{2\nu}: \quad \varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{el}}, \quad R_{\mathrm{m}} = R_{\mathrm{el}};$$

$$\text{si } \varepsilon_{\mathrm{e}} \geq \frac{1}{2\nu}: \quad \varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu}, \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{A}{2\nu \mathbf{e}^{1/2\nu}}.$$

2.6.2 Courbe de traction et résistance

(1) ***(Cas général)*** *Si $\varepsilon_{\mathrm{e}} < n \leq \varepsilon_{\mathrm{ult}}$, alors la résistance est atteinte en phase d'écrouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau recuit et sous l'hyp. de Considère :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = n; \quad R_{\mathrm{m}} = K \left(\frac{n}{\mathbf{e}}\right)^{n} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}.$$

(2) ***(Cas matériau fragile)*** *Si $n > \varepsilon_{\mathrm{ult}}$ alors la résistance est atteinte à la* ***rupture****. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par σ_{ult} la contrainte de traction ultime réelle, on a*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}}; \quad R_{\mathrm{m}} = R(\varepsilon_{\mathrm{ult}}) = \sigma_{\mathrm{ult}} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon_{\mathrm{ult}}}$$

(3) ***(Cas matériau dur)*** *Si $n < \varepsilon_{\mathrm{e}}$ alors la résistance est atteinte en* ***zone élastique*** *:*

$$\text{si } \varepsilon_{\mathrm{e}} < \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{e}}; \qquad R_{\mathrm{m}} = R_e,$$
$$\text{si } \varepsilon_{\mathrm{e}} \geq \frac{1}{2\nu} : \quad \varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu}; \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu\mathbf{e}}.$$

▸ Matériau dur

2.6.2 Courbe de traction et résistance

(1) ***(Cas général)*** *Si $\varepsilon_{\mathrm{e}} < n \leq \varepsilon_{\mathrm{ult}}$, alors la résistance est atteinte en phase d'écrouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau recuit et sous l'hyp. de Considère :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = n; \quad R_{\mathrm{m}} = K \left(\frac{n}{\mathbf{e}}\right)^{n} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}.$$

(2) ***(Cas matériau fragile)*** *Si $n > \varepsilon_{\mathrm{ult}}$ alors la résistance est atteinte à la **rupture**. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par σ_{ult} la contrainte de traction ultime réelle, on a*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}}; \quad R_{\mathrm{m}} = R(\varepsilon_{\mathrm{ult}}) = \sigma_{\mathrm{ult}} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon_{\mathrm{ult}}}$$

(3) ***(Cas matériau dur)*** *Si $n < \varepsilon_{\mathrm{e}}$ alors la résistance est atteinte en **zone élastique** :*

$$\begin{aligned} \textit{si } \varepsilon_{\mathrm{e}} < \tfrac{1}{2\nu} : &\quad \varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{e}}; \qquad R_{\mathrm{m}} = R_e, \\ \textit{si } \varepsilon_{\mathrm{e}} \geq \tfrac{1}{2\nu} : &\quad \varepsilon_{\mathrm{m}} = \tfrac{1}{2\nu}; \quad R_{\mathrm{m}} = \tfrac{E}{2\nu\mathbf{e}}. \end{aligned}$$

2.6.2 Courbe de traction et résistance

(1) ***(Cas général)*** *Si $\varepsilon_{\mathrm{e}} < n \leq \varepsilon_{\mathrm{ult}}$, alors la résistance est atteinte en phase d'écrouissage (cf. trspt. 2.6.1). Pour un matériau recuit et sous l'hyp. de Considère :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = n; \quad R_{\mathrm{m}} = K \left(\frac{n}{\mathbf{e}}\right)^{n} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}.$$

(2) ***(Cas matériau fragile)*** *Si $n > \varepsilon_{\mathrm{ult}}$ alors la résistance est atteinte à la* ***rupture****. Si on applique l'hypothèse de Considère et qu'on désigne par σ_{ult} la contrainte de traction ultime réelle, on a*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{ult}}; \quad R_{\mathrm{m}} = R(\varepsilon_{\mathrm{ult}}) = \sigma_{\mathrm{ult}} \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}} - \varepsilon_{\mathrm{ult}}}$$

(3) ***(Cas matériau dur)*** *Si $n < \varepsilon_{\mathrm{e}}$ alors la résistance est atteinte en* ***zone élastique*** *:*

$$\begin{aligned} \textit{si } \varepsilon_{\mathrm{e}} < \tfrac{1}{2\nu} : &\quad \varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{e}}; \quad R_{\mathrm{m}} = R_e, \\ \textit{si } \varepsilon_{\mathrm{e}} \geq \tfrac{1}{2\nu} : &\quad \varepsilon_{\mathrm{m}} = \tfrac{1}{2\nu}; \quad R_{\mathrm{m}} = \tfrac{E}{2\nu\mathbf{e}}. \end{aligned}$$

2.6.3 Résistance et contrainte de traction utlime

- *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 par confondre R_{m} avec la contrainte de traction ultime σ_{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*

$$\sigma_{\mathrm{ult}} > R_{\mathrm{m}}.$$

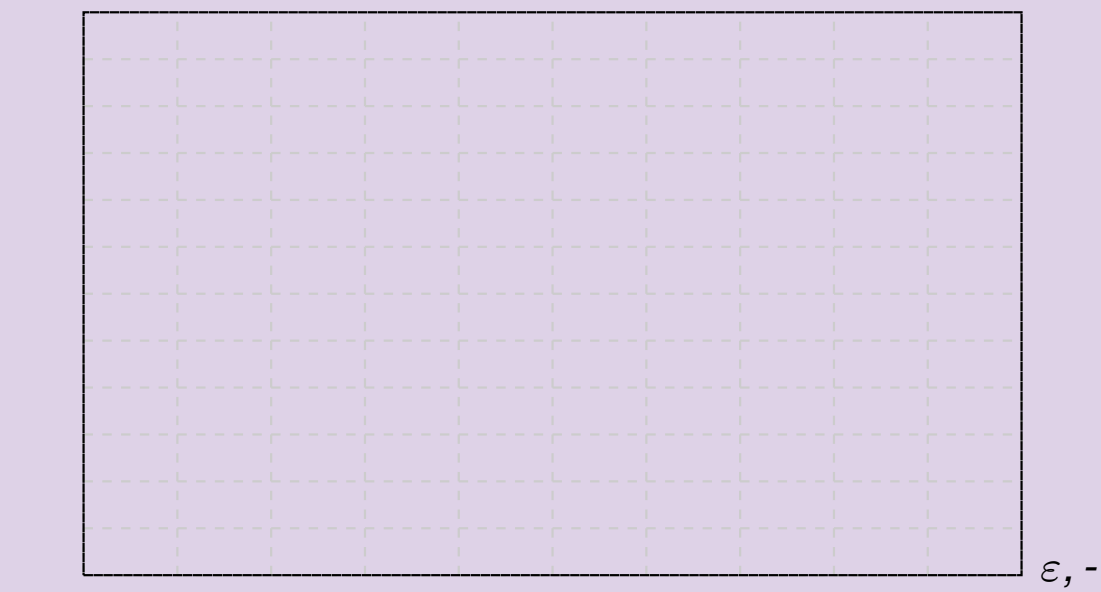


Fig. *courbes de traction, matériau ductile*

2.6.3 Résistance et contrainte de traction utlime

- *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 par confondre R_{m} avec la contrainte de traction ultime σ_{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*

$$\sigma_{\mathrm{ult}} > R_{\mathrm{m}}.$$

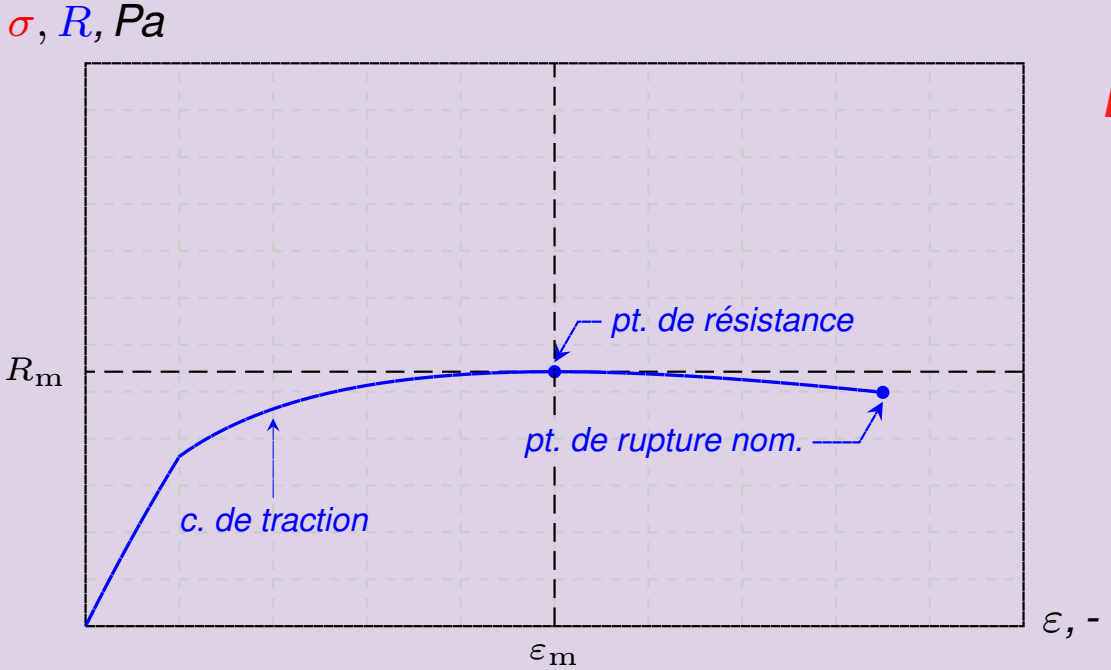


***Fig.** courbes de traction, matériau ductile*

2.6.3 Résistance et contrainte de traction utlime

- *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 par confondre R_{m} avec la contrainte de traction ultime σ_{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*

$$\sigma_{\mathrm{ult}} > R_{\mathrm{m}}.$$

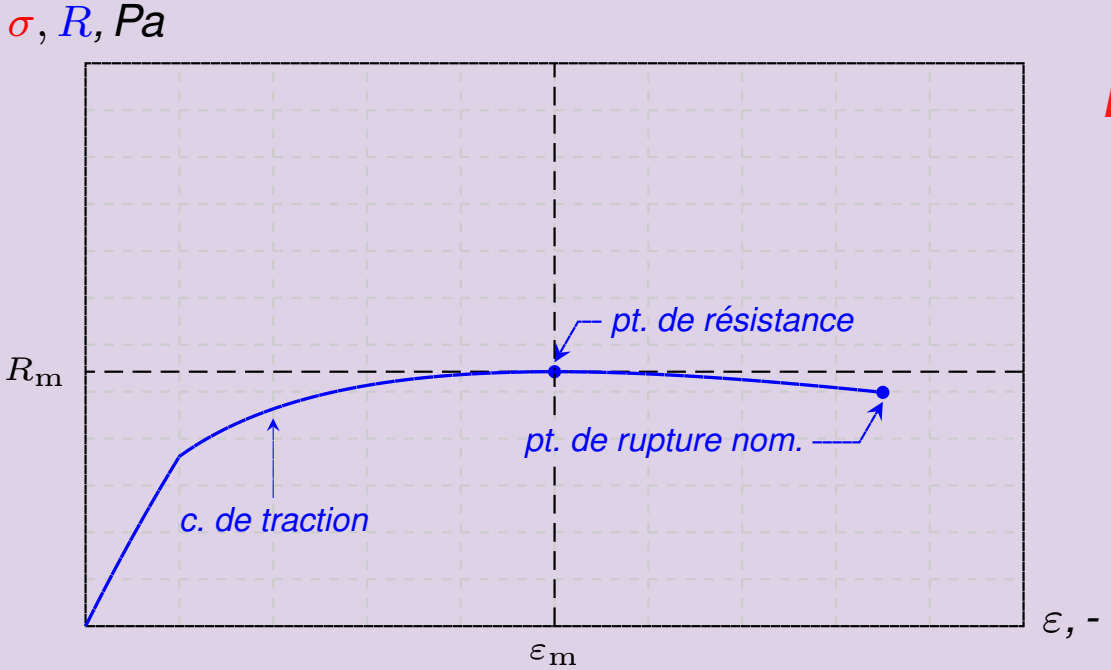


***Fig.** courbes de traction, matériau ductile*

2.6.3 Résistance et contrainte de traction utlime

- *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 par confondre R_{m} avec la contrainte de traction ultime σ_{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*

$$\sigma_{\mathrm{ult}} > R_{\mathrm{m}}.$$

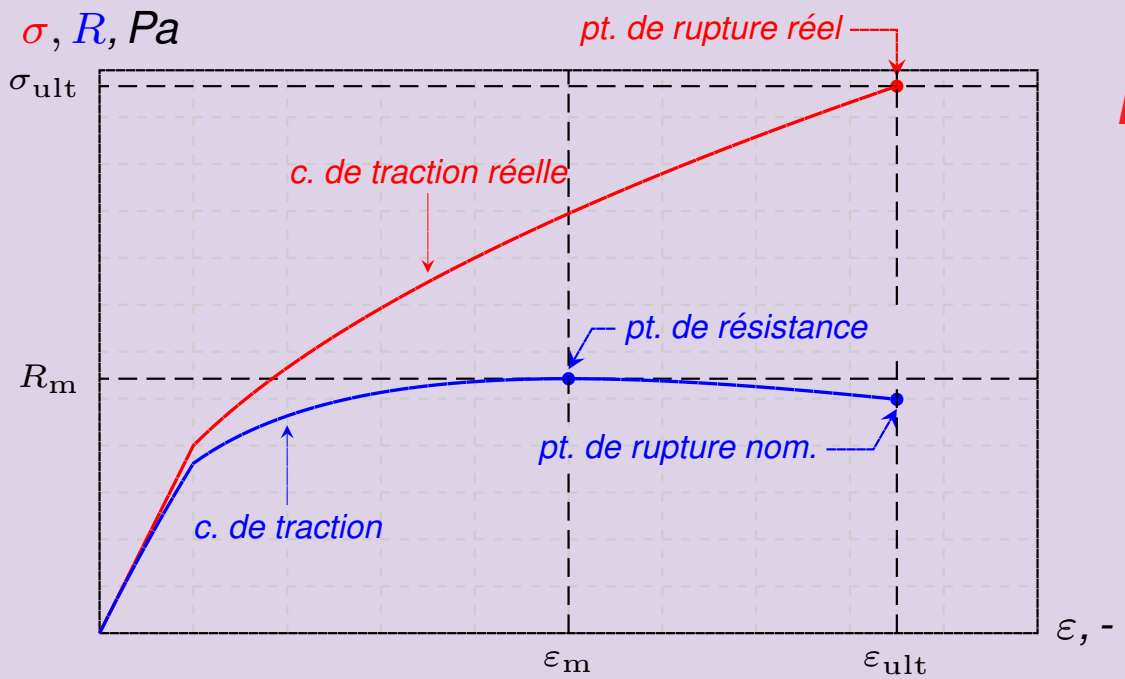


Fig. *courbes de traction, matériau ductile*

2.6.3 Résistance et contrainte de traction utlime

- *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 par confondre R_{m} avec la contrainte de traction ultime σ_{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*

$$\sigma_{\mathrm{ult}} > R_{\mathrm{m}}.$$

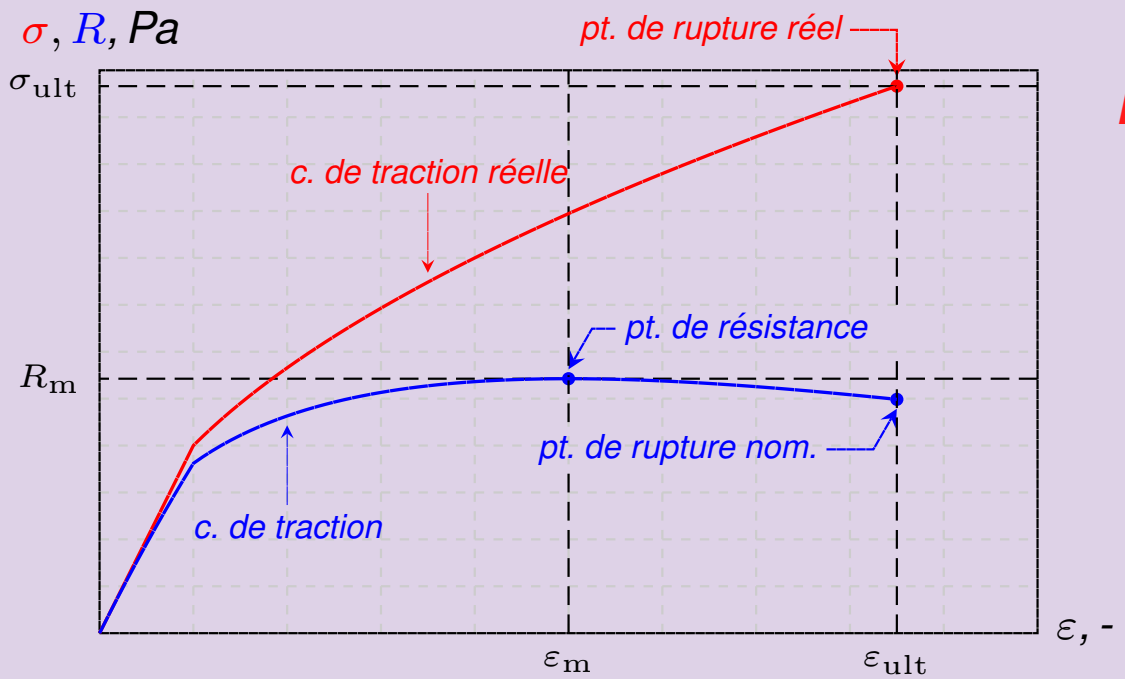


Fig. *courbes de traction, matériau ductile*

2.6.3 Résistance et contrainte de traction utlime

- *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 par confondre R_{m} avec la contrainte de traction ultime σ_{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*

$$\sigma_{\mathrm{ult}} > R_{\mathrm{m}}.$$

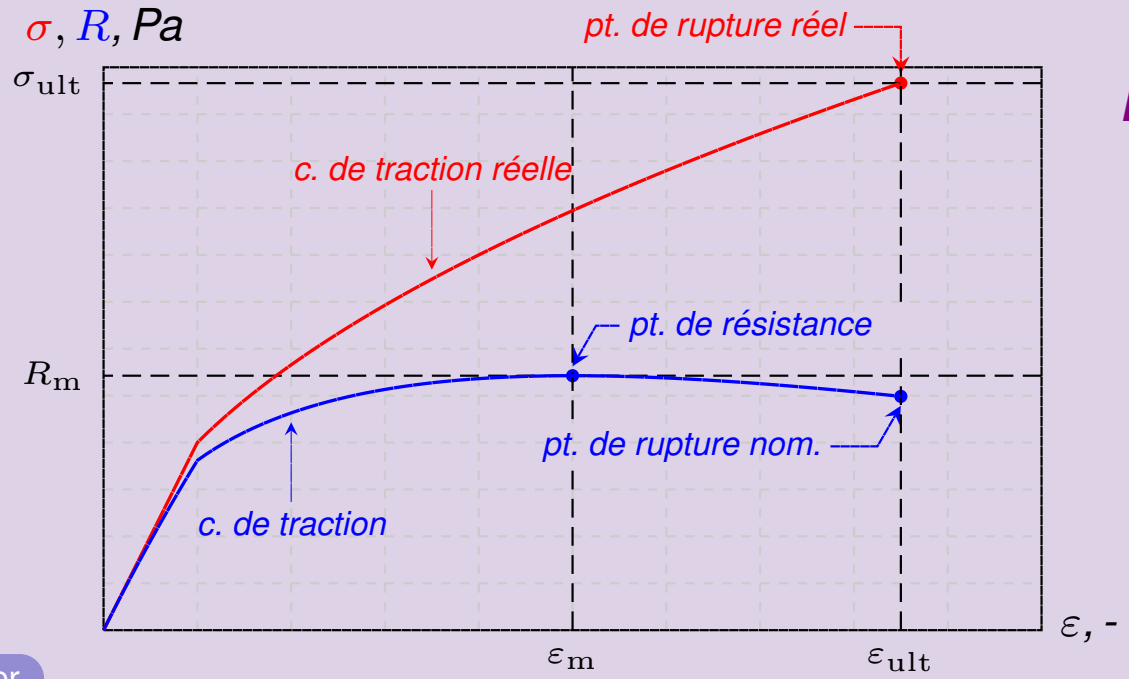


***Fig.** courbes de traction, matériau ductile*

aller

2.6.3 Résistance et contrainte de traction utlime

- *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 par confondre R_{m} avec la contrainte de traction ultime σ_{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*

$$\sigma_{\mathrm{ult}} > R_{\mathrm{m}}.$$

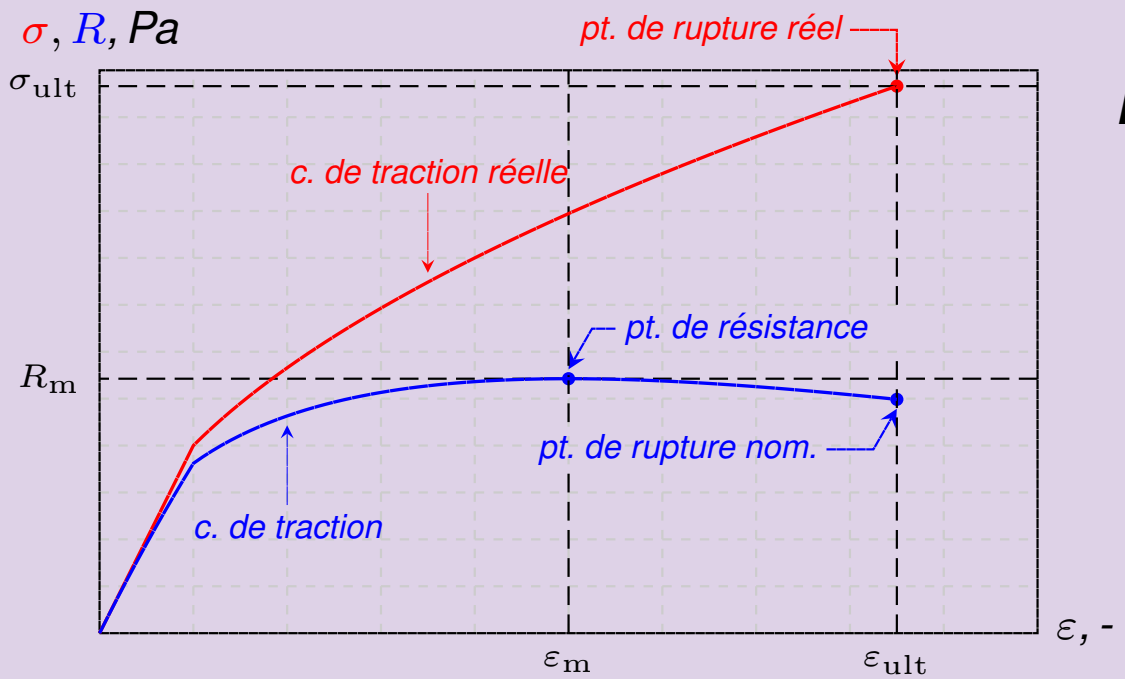


Fig. *courbes de traction, matériau ductile*

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_e}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

- *Utilité de la fonction de traction :*

Tableaux 5cQAR

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

- *Utilité de la fonction de traction :*

⏩ Module d'écrouissage aux tableaux

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(e) = \begin{cases} R_m e^{-2\nu\varepsilon} & , \quad \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} e^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n & , \quad \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- ***Utilité de la fonction de traction :***

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- *Utilité de la fonction de traction :*

⏩ Tableaux 5cQIN

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- *Utilité de la fonction de traction :*

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- *Utilité de la fonction de traction :*

⏩ Fonction de traction aux tableaux

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- *Utilité de la fonction de traction :*

Tableaux 5d

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- *Utilité de la fonction de traction :*

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- ***Utilité de la fonction de traction :***
  - *La fonction de traction permet de calculer la force de traction F nécessaire à atteindre un taux de déformation ε donné sur un échantillon de section initiale S_0 : $F = S_0 R(\varepsilon)$.*
  - *Pour calculer la force maximale F_m qu'un matériau peut supporter avant la striction, il suffit de calculer R_m : $F_m = S_0 R_m$.*
  - *La striction se produit à $\varepsilon = \varepsilon_e$.*

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- *Utilité de la fonction de traction :*
  - *La fonction de traction permet de calculer la force de traction F nécessaire à atteindre un taux de déformation ε donné sur un échantillon de section initiale S_0 : $F = S_0 R(\varepsilon)$.*
  - *Pour calculer le taux de déformation ε qu'on atteint sur un échantillon de section initiale S_0 lorsque la force de traction F est imposée, il faudra par contre inverser la fonction de traction : $\varepsilon = R^{-1}(F/S_0)$.*

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- ***Utilité de la fonction de traction :***
  - *La fonction de traction permet de calculer la **force de traction** F nécessaire à atteindre un **taux de déformation** ε donné sur un échantillon de section initiale S_0 : $F = S_0 R(\varepsilon)$.*
  - *Pour calculer le **taux de déformation** ε qu'on atteint sur un échantillon de section initiale S_0 lorsque la **force de traction** F est imposée, il faudra par contre inverser la fonction de traction : $\varepsilon = R^{-1}(F/S_0)$.*

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- ***Utilité de la fonction de traction :***
  - *La fonction de traction permet de calculer la **force de traction** F nécessaire à atteindre un **taux de déformation** ε donné sur un échantillon de section initiale S_0 : $F = S_0 R(\varepsilon)$.*
  - *Pour calculer le **taux de déformation** ε qu'on atteint sur un échantillon de section initiale S_0 lorsque la **force de traction** F est imposée, il faudra par contre inverser la fonction de traction : $\varepsilon = R^{-1}(F/S_0)$.*

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- ***Utilité de la fonction de traction :***
  - *La fonction de traction permet de calculer la **force de traction** F nécessaire à atteindre un **taux de déformation** ε donné sur un échantillon de section initiale S_0 : $F = S_0 R(\varepsilon)$.*
  - *Pour calculer le **taux de déformation** ε qu'on atteint sur un échantillon de section initiale S_0 lorsque la **force de traction** F est imposée, il faudra par contre inverser la fonction de traction : $\varepsilon = R^{-1}(F/S_0)$.*

On verra ce que cela signifie dans les transparents qui suivent

2.6.4 Fonction de traction

- *Le module d'écrouissage est lié à la résistance. Pour un matériau recuit et si on admet l'**approximation de Considère** pour les variations des dimensions latérales, on a*

$$K = R_m \left(\frac{\mathbf{e}}{n}\right)^n \mathbf{e}^{-(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}}$$

- *Dans ces conditions, on obtient une expression simple de la contrainte nominale*

$$R = R(\varepsilon) = \begin{cases} E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}, & \varepsilon \leq \varepsilon_e \\ R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n, & \varepsilon \geq \varepsilon_e \end{cases}$$

qu'on appelle fonction de traction.

- ***Utilité de la fonction de traction :***
  - *La fonction de traction permet de calculer la **force de traction** F nécessaire à atteindre un **taux de déformation** ε donné sur un échantillon de section initiale S_0 : $F = S_0 R(\varepsilon)$.*
  - *Pour calculer le **taux de déformation** ε qu'on atteint sur un échantillon de section initiale S_0 lorsque la **force de traction** F est imposée, il faudra par contre inverser la fonction de traction : $\varepsilon = R^{-1}(F/S_0)$.*

Exo 1, Série 3 : manipulation de la contrainte et de la fonction de traction réelles

2.7.1 Inversion de la fonction de traction

(1) ***Cas élastique :*** *Si $F/S_0 \leq R_e$, l'équation à résoudre est*

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) ***Cas plastique :*** *Si $R_e < F/S_0 < R_m$, l'équation à résoudre pour un matériau recuit et sous l'hypothèse de Considère, est*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n.$$

(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

(1) ***Cas élastique :*** *Si $F/S_0 \leq R_e$, l'équation à résoudre est*

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) ***Cas plastique :*** *Si $R_e < F/S_0 < R_m$, l'équation à résoudre pour un matériau recuit et sous l'hypothèse de Considère, est*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n.$$

(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

(1) ***Cas élastique :*** *Si $F/S_0 \leq R_e$, l'équation à résoudre est*

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) ***Cas plastique :*** *Si $R_e < F/S_0 < R_m$, l'équation à résoudre pour un matériau recuit et sous l'hypothèse de Considère, est*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n.$$

(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

(1) ***Cas élastique :*** *Si $F/S_0 \leq R_e$, l'équation à résoudre est*

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) ***Cas plastique :*** *Si $R_e < F/S_0 < R_m$, l'équation à résoudre pour un matériau recuit et sous l'hypothèse de Considère, est*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n.$$

(3) ***Cas de rupture :*** *Si $F/S_0 > R_m$, la déformation peut être menée jusqu'à la rupture :*

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ult}}$$

▸ Il est utile d'illustrer Les trois situations décrites ici

2.7.1 Inversion de la fonction de traction

(1) ***Cas élastique :*** *Si $F/S_0 \leq R_e$, l'équation à résoudre est*

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) ***Cas plastique :*** *Si $R_e < F/S_0 < R_m$, l'équation à résoudre pour un matériau recuit et sous l'hypothèse de Considère, est*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n.$$

(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

(1) ***Cas élastique :*** *Si $F/S_0 \leq R_e$, l'équation à résoudre est*

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) ***Cas plastique :*** *Si $R_e < F/S_0 < R_m$, l'équation à résoudre pour un matériau recuit et sous l'hypothèse de Considère, est*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n.$$

(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

(1) ***Cas élastique :*** *Si $F/S_0 \leq R_e$, l'équation à résoudre est*

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) ***Cas plastique :*** *Si $R_e < F/S_0 < R_m$, l'équation à résoudre pour un matériau recuit et sous l'hypothèse de Considère, est*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n.$$

(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

(1) ***Cas élastique :*** *Si $F/S_0 \leq R_e$, l'équation à résoudre est*

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) ***Cas plastique :*** *Si $R_e < F/S_0 < R_m$, l'équation à résoudre pour un matériau recuit et sous l'hypothèse de Considère, est*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n.$$

(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

(1) ***Cas élastique :*** *Si $F/S_0 \leq R_e$, l'équation à résoudre est*

$$\frac{F}{S_0} = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}.$$

(2) ***Cas plastique :*** *Si $R_e < F/S_0 < R_m$, l'équation à résoudre pour un matériau recuit et sous l'hypothèse de Considère, est*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n}\mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}}\right)^n.$$

(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 fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathrm{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$:
  - *On pose* $a = \frac{1}{\mathrm{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$;
  - *A l'aide de la commande Isolate on isole successivement chaque terme de l'égalité ;*
  - *On applique la commande Numer aux deux membres de l'égalité.*

▸ Algorithme

2.7.2 Inversion de la fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathrm{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$ *:*
  - *On pose* $\alpha = \frac{1}{\mathrm{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$.
  - *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 fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$ *:*
  - *On pose* $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$.
  - *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 fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$ *:*
  - *On pose* $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$.
  - *A partir de la condition initiale* $x_0 = \alpha$*, on effectue l'itération de pt. fixe*

$$x_{m+1} = \alpha \mathbf{e}^{x_m}, \; m = 0, 1, 2 \ldots$$

  - *On appelle* $\bar{x}$ *sa limite et on trouve le taux de déformation réel*

$$\varepsilon = n\bar{x}$$

2.7.2 Inversion de la fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$ *:*
  - *On pose* $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$.
  - *A partir de la condition initiale* $x_0 = \alpha$*, on effectue l'itération de pt. fixe*

$$x_{m+1} = \alpha \mathbf{e}^{x_m}, \; m = 0, 1, 2 \ldots$$

  - *On appelle* $\bar{x}$ *sa limite et on trouve le taux de déformation réel*

$$\varepsilon = n\bar{x}$$

2.7.2 Inversion de la fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$ *:*
  - *On pose* $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$.
  - *A partir de la condition initiale* $x_0 = \alpha$*, on effectue l'itération de pt. fixe*

$$x_{m+1} = \alpha \mathbf{e}^{x_m}, \; m = 0, 1, 2 \ldots$$

  - *On appelle* $\bar{x}$ *sa limite et on trouve le taux de déformation réel*

$$\varepsilon = n\bar{x}$$

2.7.2 Inversion de la fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$ *:*
  - *On pose* $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$.
  - *A partir de la condition initiale* $x_0 = \alpha$*, on effectue l'itération de pt. fixe*

$$x_{m+1} = \alpha \mathbf{e}^{x_m}, \; m = 0, 1, 2 \ldots$$

  - *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 fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$ *:*
  - *On pose* $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$.
  - *A partir de la condition initiale* $x_0 = \alpha$*, on effectue l'itération de pt. fixe*

$$x_{m+1} = \alpha \mathbf{e}^{x_m}, \; m = 0, 1, 2 \ldots$$

  - *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 fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$ *:*
  - *On pose* $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$.
  - *A partir de la condition initiale* $x_0 = \alpha$*, on effectue l'itération de pt. fixe*

$$x_{m+1} = \alpha \mathbf{e}^{x_m}, \; m = 0, 1, 2 \ldots$$

  - *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 fonction de traction - plasticité

- ***l'équation à résoudre est transcendante*** *et cela même sous l'hypothèse de Considère. Dans le cas d'un matériau recuit, cette équation est :*

$$\frac{F}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon}{n}} \right)^n .$$

- ***Méthode de résolution pour trouver*** $\varepsilon < n$ *:*
  - *On pose* $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$.
  - *A partir de la condition initiale* $x_0 = \alpha$*, on effectue l'itération de pt. fixe*

$$x_{m+1} = \alpha \mathbf{e}^{x_m}, \; m = 0, 1, 2 \ldots$$

  - *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

Programme de la troisième partie

8. 8. Energie de déformation

9. 9. L'expérience de dureté

10. 10. L'expérience de compression

2.8.1 Energie spécifique de déformation

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_f *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_f} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

▸ Episode de traction

2.8.1 Energie spécifique de déformation

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_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

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon$$

2.8.1 Energie spécifique de déformation

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon$$

2.8.1 Energie spécifique de déformation

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

où $\eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon$

- *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

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

où $\eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon$ (énergie spécifique de déformation)

- *Pour un matériau général,* $V_0\eta$ *est*
- *Pour un matériau général,* η *est une* ***sur-estimation*** *du travail* A.

2.8.1 Energie spécifique de déformation

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

où $\eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon$ ***(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

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

où $\eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon$ ***(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

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

où $\eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon$ ***(énergie spécifique de déformation)***

- *Pour un matériau général,* $V_0\eta$ *est*
- *Pour un matériau général,* $\quad$ *est une* ***sur-estimation*** *du travail* A*.*

⏩ L'unité de η est celle de σ, est-ce compatible pour une énergie spécifique ? (Tableaux 7f)

2.8.1 Energie spécifique de déformation

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

où $\eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon$ ***(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

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

$$\text{où} \quad \eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon \qquad \textbf{(énergie spécifique de déformation)}$$

  - *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

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

$$\text{où} \quad \eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon \qquad \textbf{(énergie spécifique de déformation)}$$

  - *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

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

$$\text{où} \quad \eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon \qquad \textbf{(énergie spécifique de déformation)}$$

  - *Pour un matériau général,* $V_0\eta$ *est une* ***sous-estimation*** *du travail* A*.*
  - *Pour un matériau général,* $V_{\mathrm{f}}\eta$ *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

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

$$\text{où} \quad \eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon \qquad \textbf{(énergie spécifique de déformation)}$$

  - *Pour un matériau général,* $V_0\eta$ *est une* ***sous-estimation*** *du travail* A*.*
  - *Pour un matériau général,* $V_{\mathrm{f}}\eta$ *est une* ***sur-estimation*** *du travail* A*.*

2.8.1 Energie spécifique de déformation

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

$$\text{où} \quad \eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon \qquad \textbf{(énergie spécifique de déformation)}$$

  - *Pour un matériau général,* $V_0\eta$ *est une* ***sous-estimation*** *du travail* A*.*
  - *Pour un matériau général,* $V_{\mathrm{f}}\eta$ *est une* ***sur-estimation*** *du travail* A*.*

2.8.1 Energie spécifique de déformation

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

$$\text{où} \quad \eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon \qquad \textbf{(énergie spécifique de déformation)}$$

  - *Pour un matériau général,* $V_0\eta$ *est une* ***sous-estimation*** *du travail* A*.*
  - *Pour un matériau général,* $V_{\mathrm{f}}\eta$ *est une* ***sur-estimation*** *du travail* A*.*

2.8.1 Energie spécifique de déformation

- *Le travail fourni sur un épisode de l'expérience de traction est*

$$dA = S\sigma dl \Longrightarrow dA = V\sigma d\varepsilon.$$

- *Le travail total pour amener l'échantillon au taux de déformation réel* ε_{f} *vaut :*

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} V\sigma d\varepsilon$$

- *Si le matériau est* ***incompressible*** *alors* $V = V_0$ *et*

$$A = V_0 \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon = V_0\eta$$

$$\text{où} \quad \eta = \int_0^{\varepsilon_{\mathrm{f}}} \sigma d\varepsilon \qquad \textbf{\textit{(énergie spécifique de déformation)}}$$

  - *Pour un matériau général,* $V_0\eta$ *est une* ***sous-estimation*** *du travail* A*.*
  - *Pour un matériau général,* $V_{\mathrm{f}}\eta$ *est une* ***sur-estimation*** *du travail* A*.*

Exo 1, Série 4 : énergie nécessaire pour étirer des agrafes

2.8.2 Ténacité - Définition

*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

*La **ténacité** T est l'énergie spécifique de déformation jusqu'en rupture :*

$$T = \int_0^{\varepsilon_{\text{ult}}} \sigma d\varepsilon$$

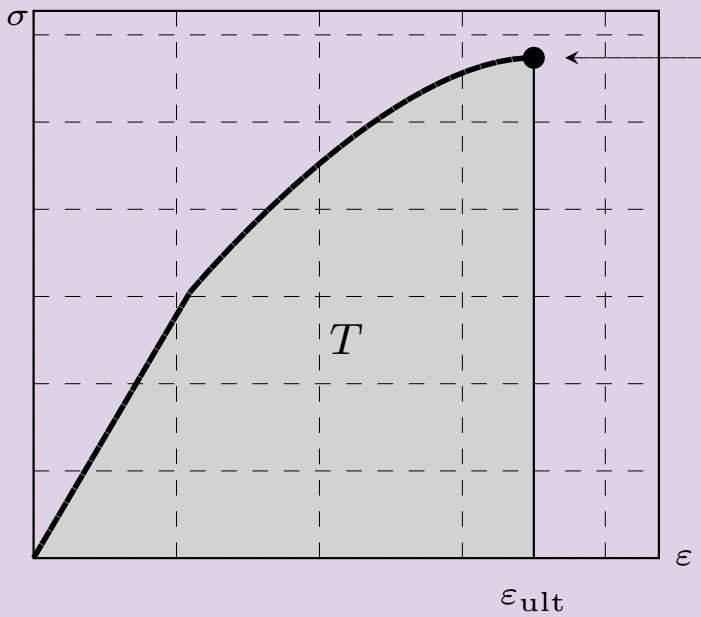


***Fig.7** Courbe de traction réelle*

2.8.2 Ténacité - Définition

*La **ténacité** T est l'énergie spécifique de déformation jusqu'en rupture :*

$$T = \int_0^{\varepsilon_{\text{ult}}} \sigma d\varepsilon$$

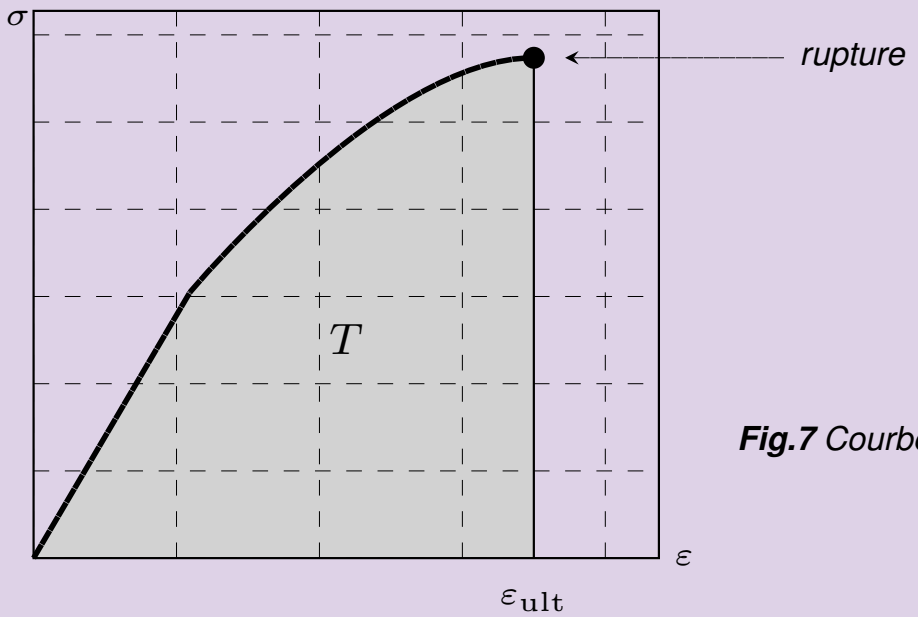


***Fig.7** Courbe de traction réelle*

- Il ne faut surtout pas confondre résistance et ténacité !

2.8.2 Ténacité - Définition

*La **ténacité** T est l'énergie spécifique de déformation jusqu'en rupture :*

$$T = \int_0^{\varepsilon_{\text{ult}}} \sigma d\varepsilon$$

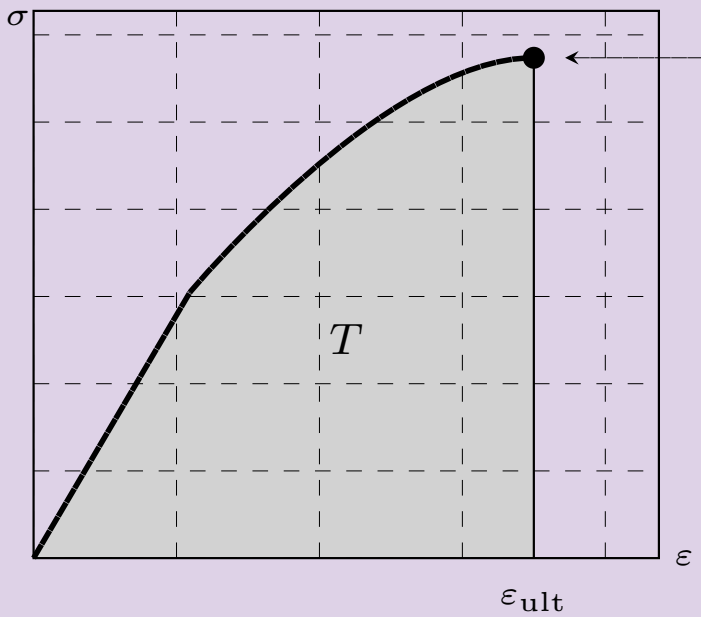


***Fig.7** Courbe de traction réelle*

2.8.2 Ténacité - Définition

*La **ténacité** T est l'énergie spécifique de déformation jusqu'en rupture :*

$$T = \int_0^{\varepsilon_{\text{ult}}} \sigma d\varepsilon$$

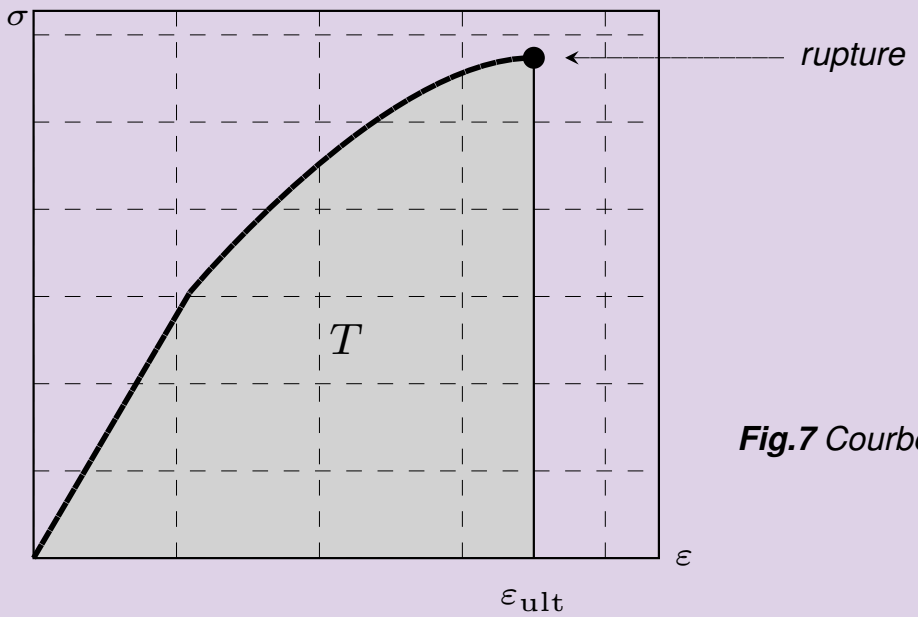


***Fig.7** Courbe de traction réelle*

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).*

$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.* ▸ *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).*

$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]}$$

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).*



$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]}$$

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).*



$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

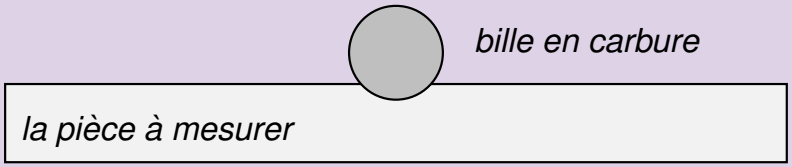
- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*

la pièce à mesurer

$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

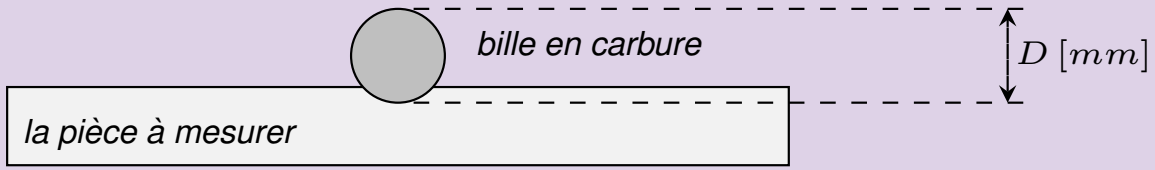
- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*



$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

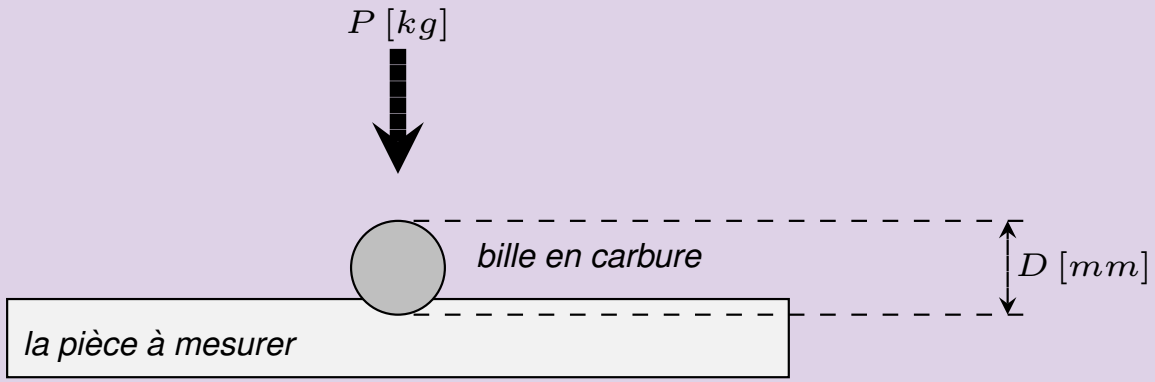
- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*



$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

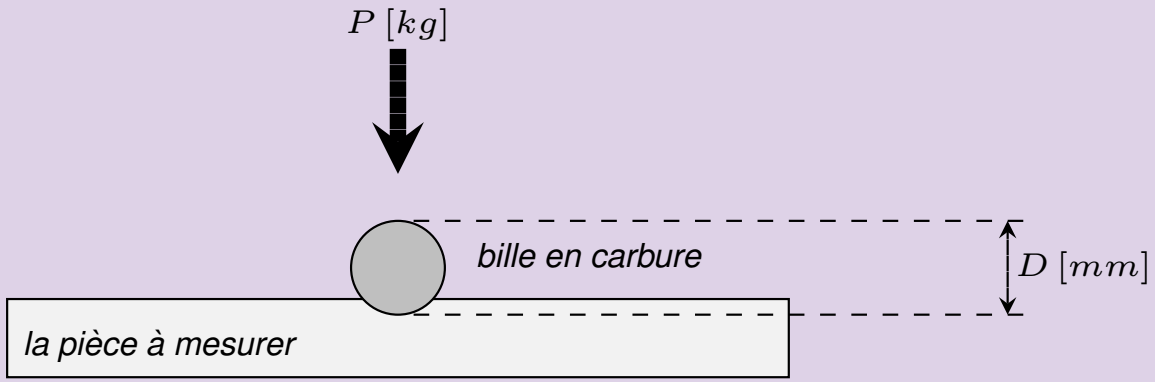
- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*



$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\dots}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

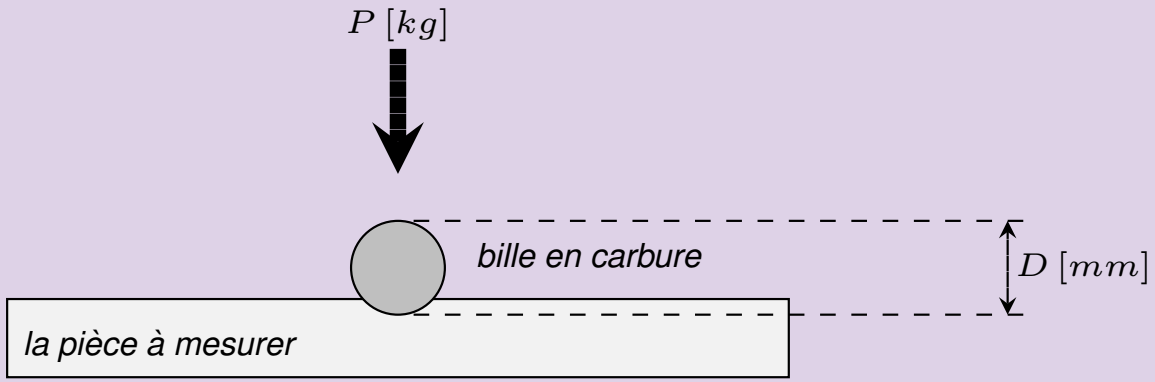
- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*



$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\pi D h}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

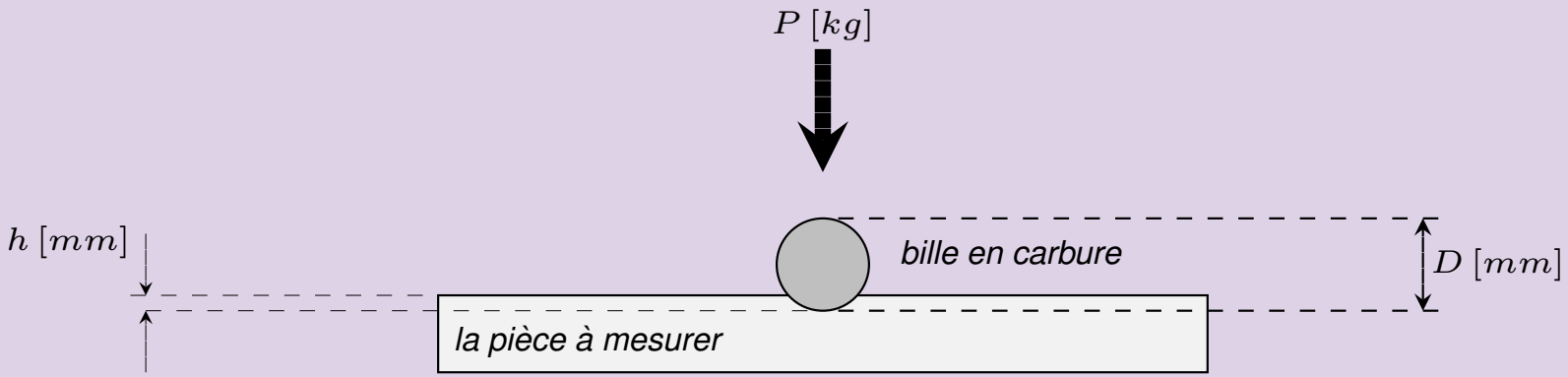
- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*



$$HB = \frac{\textit{charge en } [kg]}{\textit{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

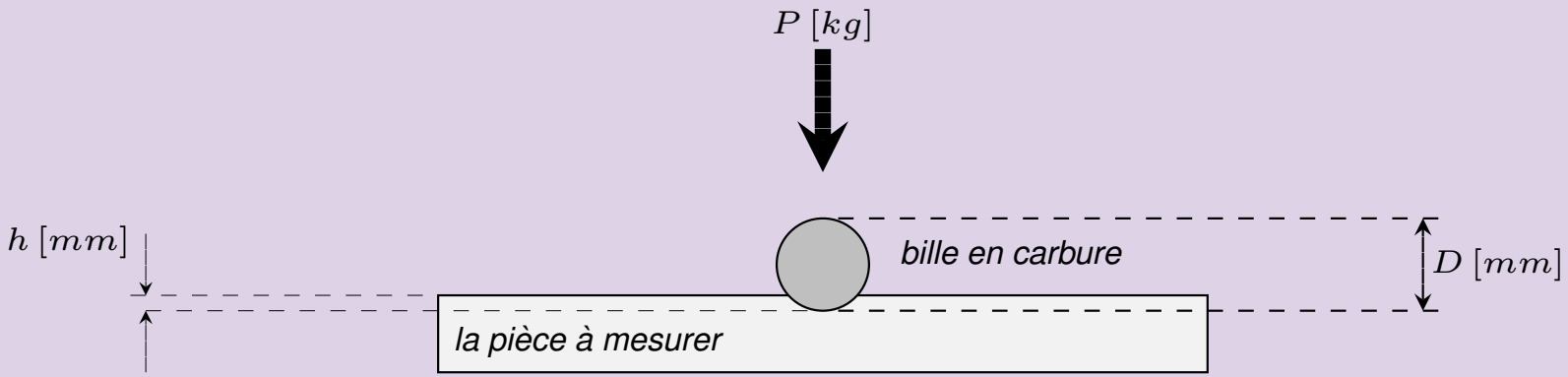
- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*



$$HB = \frac{\textit{charge en } [kg]}{\textit{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

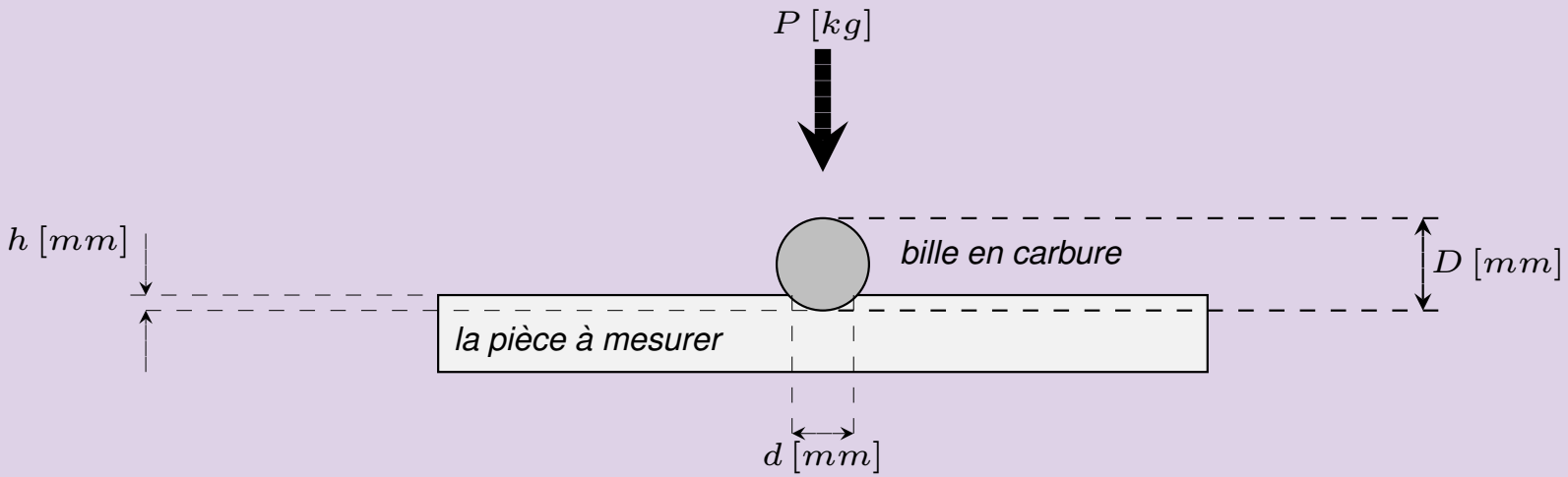
- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*



$$HB = \frac{\textit{charge en } [kg]}{\textit{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

2.9.1 L'expérience de dureté - Définition

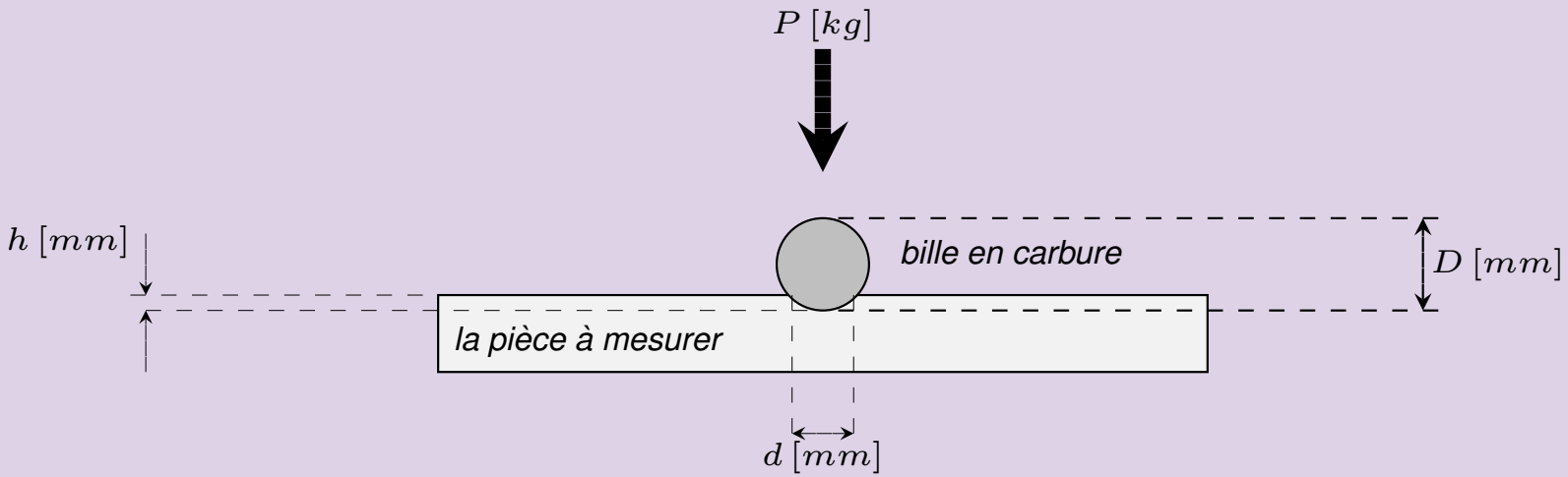
- *La dureté est une mesure hybride corrélée à la limite élastique mais aussi à l'usure.*
- *Les mesures de dureté standardisées sont nombreuses (Brinell, Vickers, Rockwell). Elles sont en principe simples et non destructives.*
- *La mesure la plus classique est due à Brinell (dureté HB).*



$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

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).*

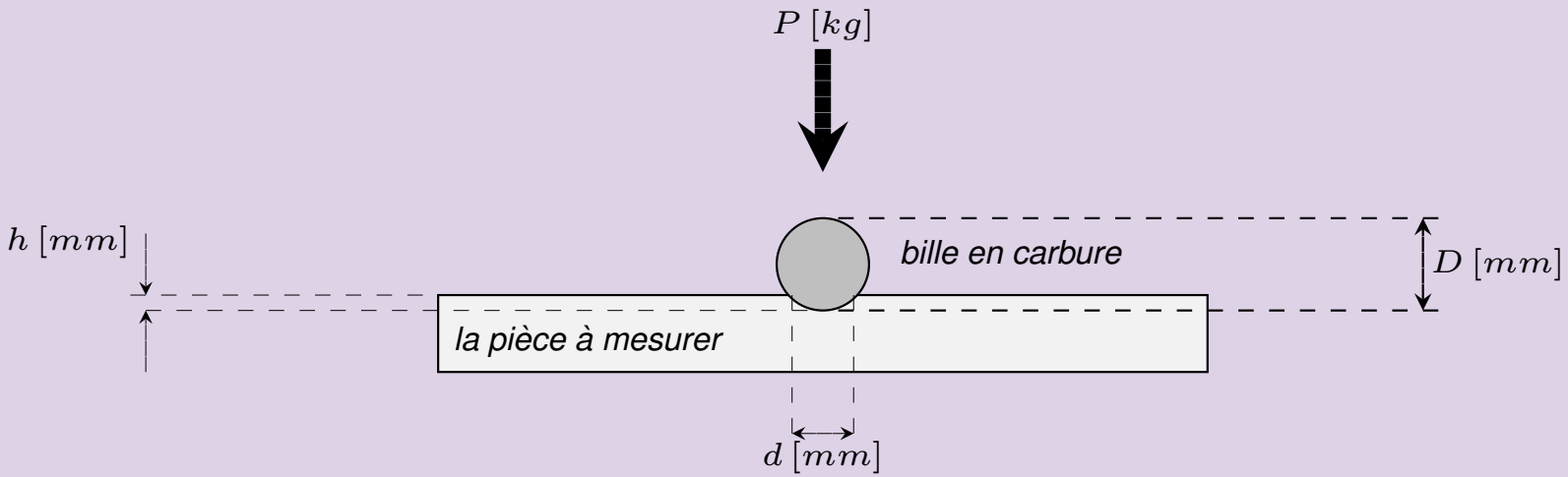


$$HB = \frac{\textit{charge en } [kg]}{\textit{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

⏩ Tableaux 10

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).*

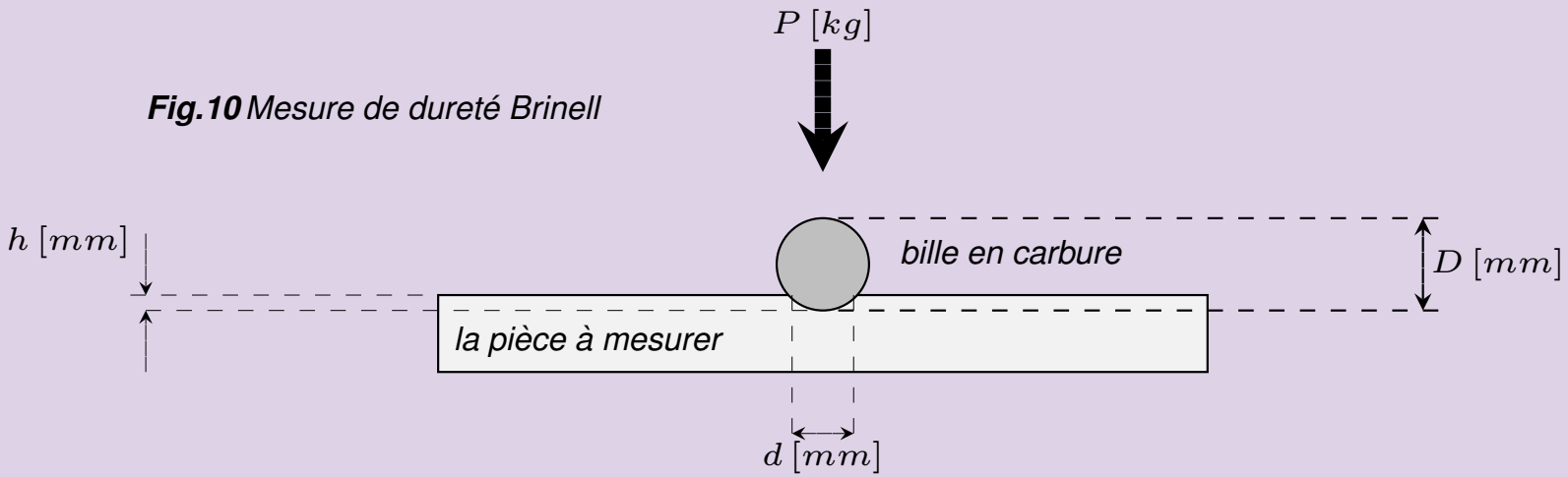


$$HB = \frac{\textit{charge en } [kg]}{\textit{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

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*

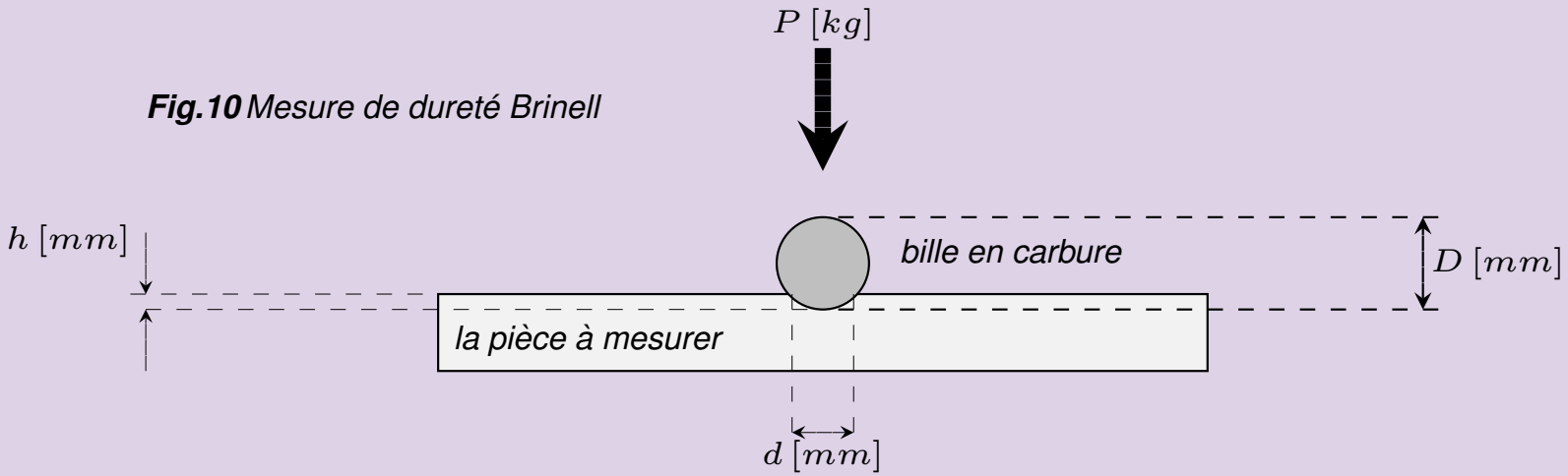


$$HB = \frac{\textit{charge en } [kg]}{\textit{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

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*



$$HB = \frac{\text{charge en } [kg]}{\text{surface de l'empreinte en } [mm^2]} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

2.9.2 Dureté et Limite élastique.

- *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.

- *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.

- *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)



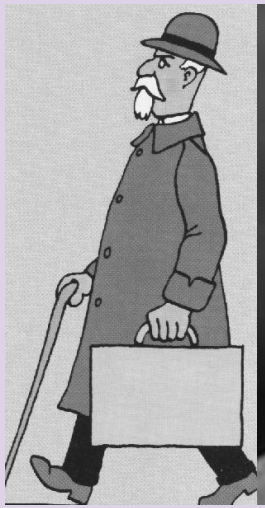
Basil Zaharoff (1849-1936)
former CEO of Vickers Ltd

2.9.2 Dureté et Limite élastique.

- *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"



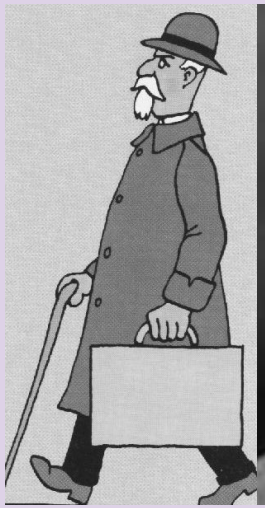
Basil Zaharoff (1849-1936)
former CEO of Vickers Ltd

2.9.2 Dureté et Limite élastique.

- *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

Exo 2, Série 4 : limite élastique et expérience de dureté

2.10.1 L'expérience de compression

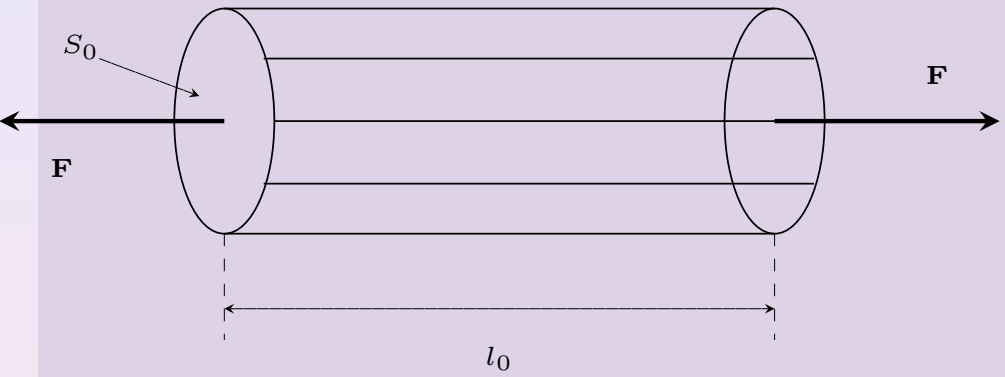
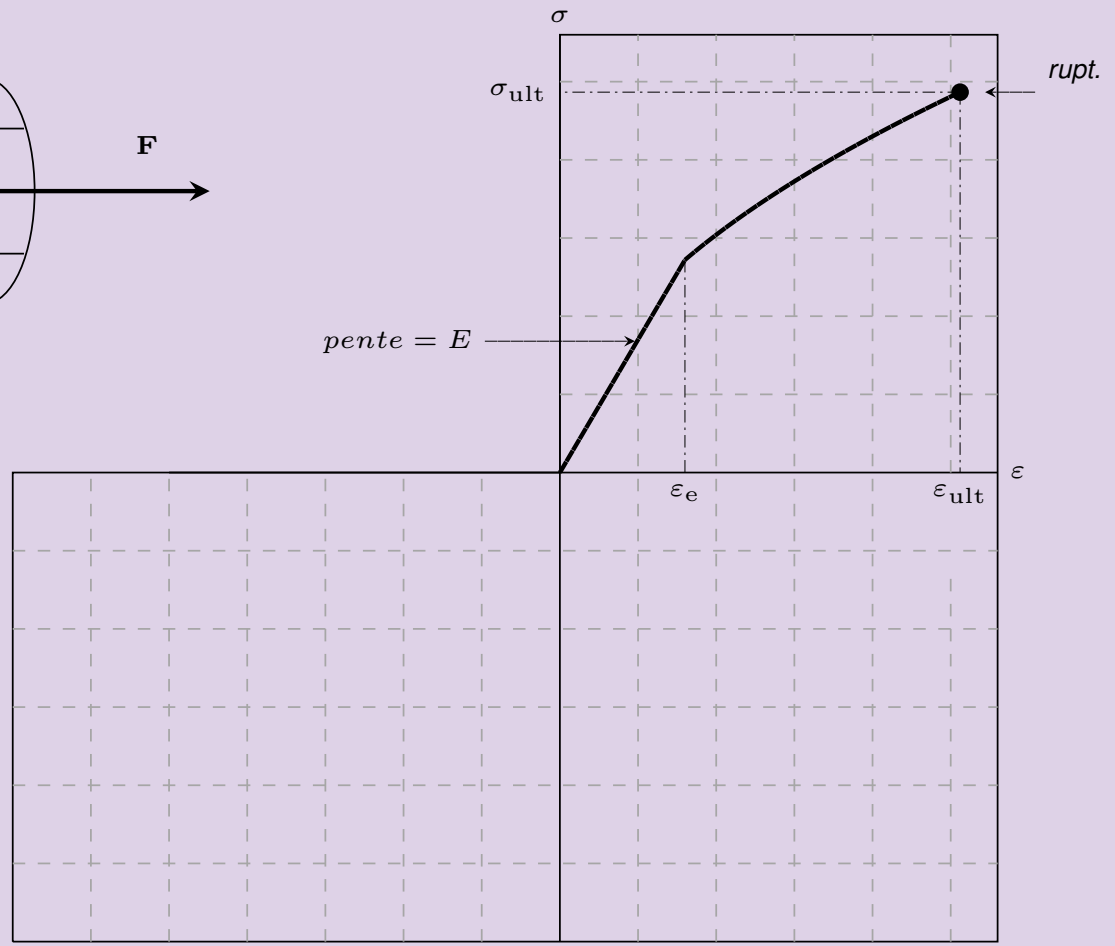


Fig.11 *Courbe de traction réelle*



Cette expérience permet de compléter la courbe de traction pour des contraintes < 0

2.10.1 L'expérience de compression

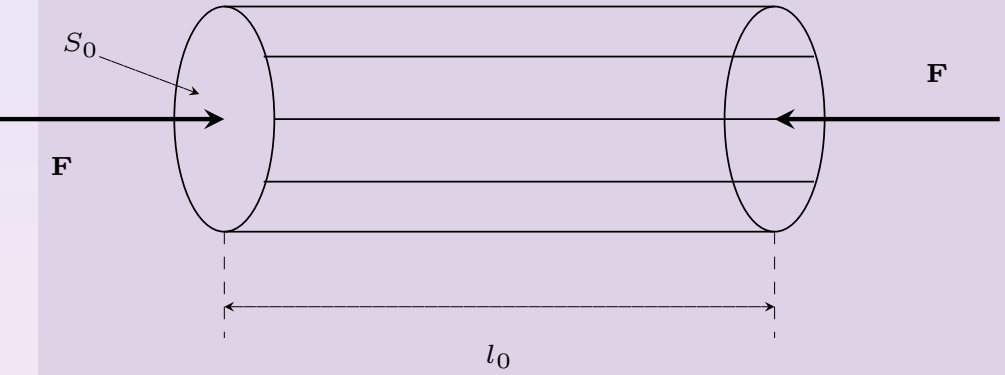
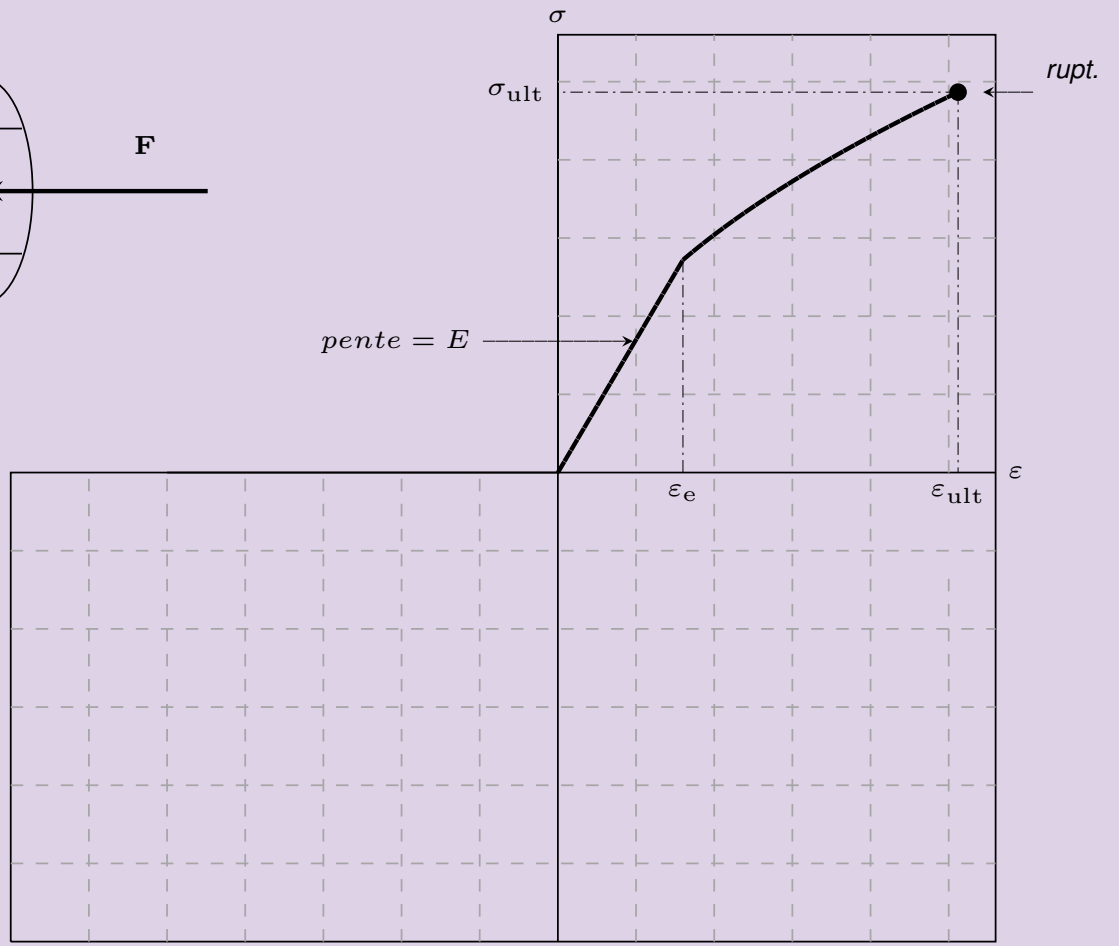


Fig.11 *Courbe de traction réelle*



Cette expérience permet de compléter la courbe de traction pour des contraintes < 0

2.10.1 L'expérience de compression

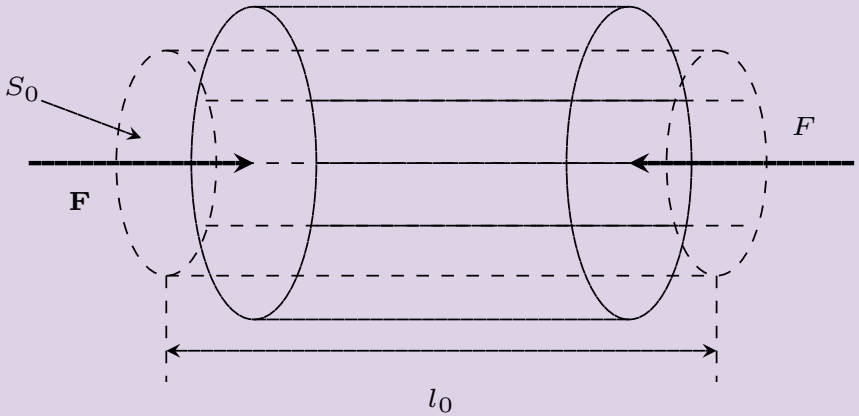
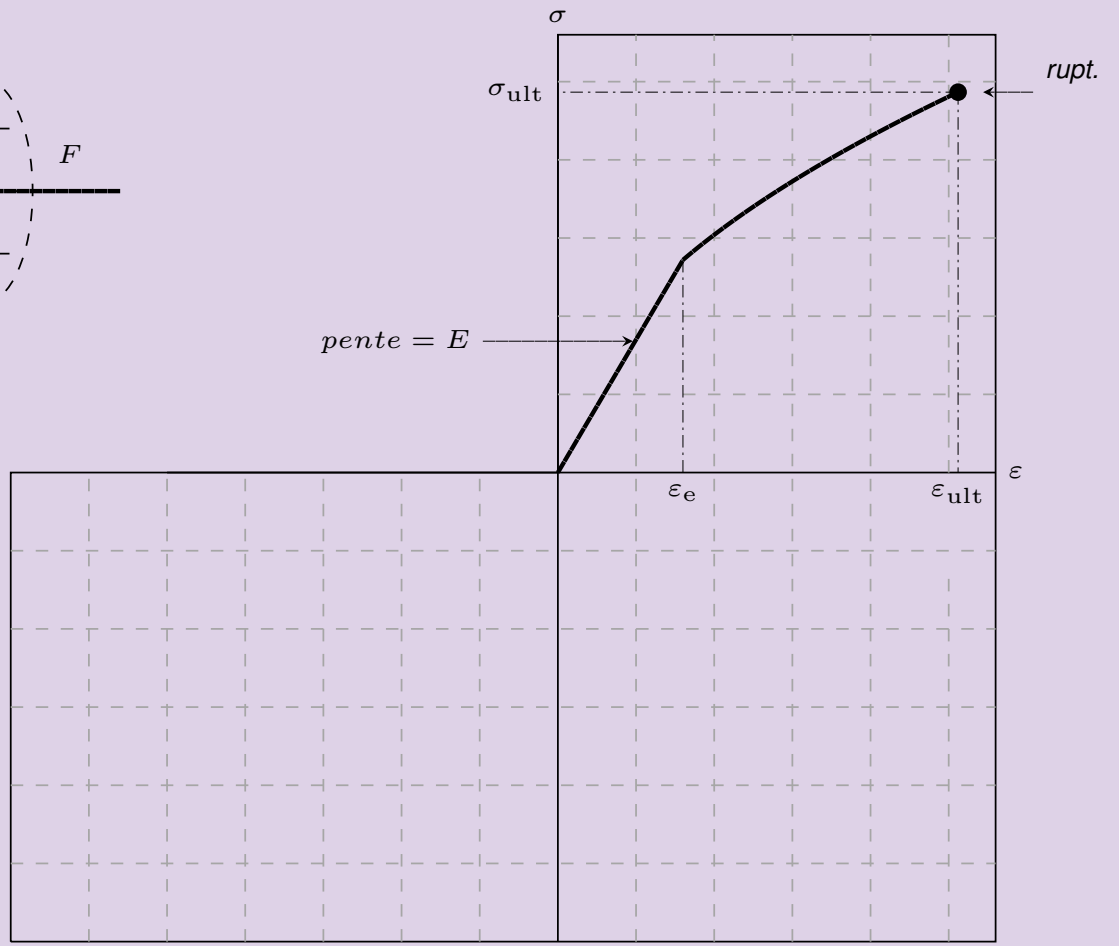


Fig.11 *Courbe de traction réelle*



2.10.1 L'expérience de compression

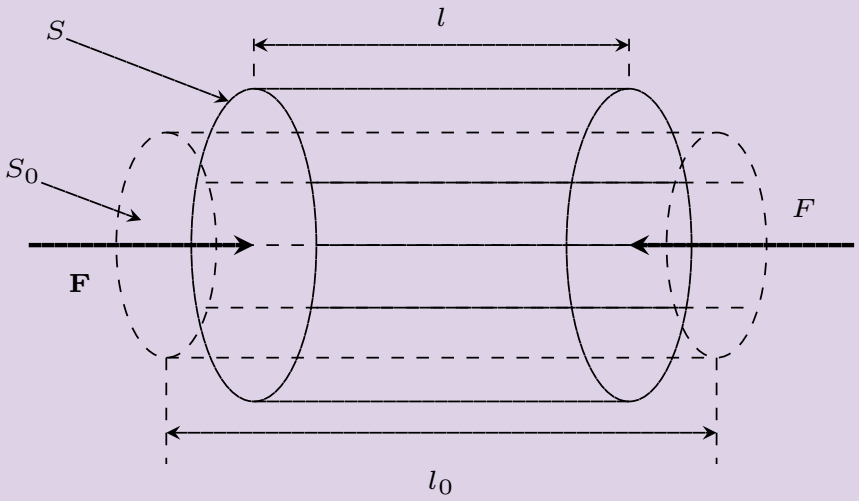
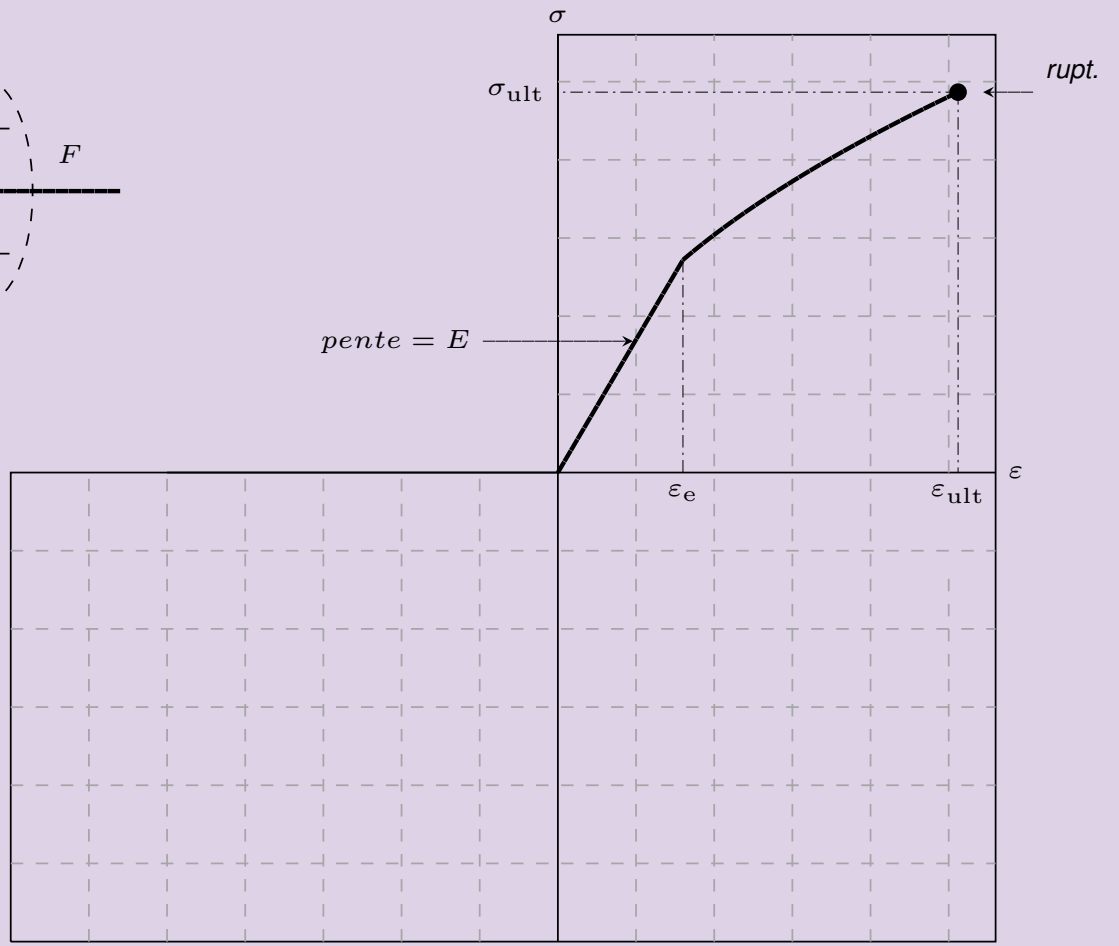


Fig.11 Courbe de traction réelle



2.10.1 L'expérience de compression

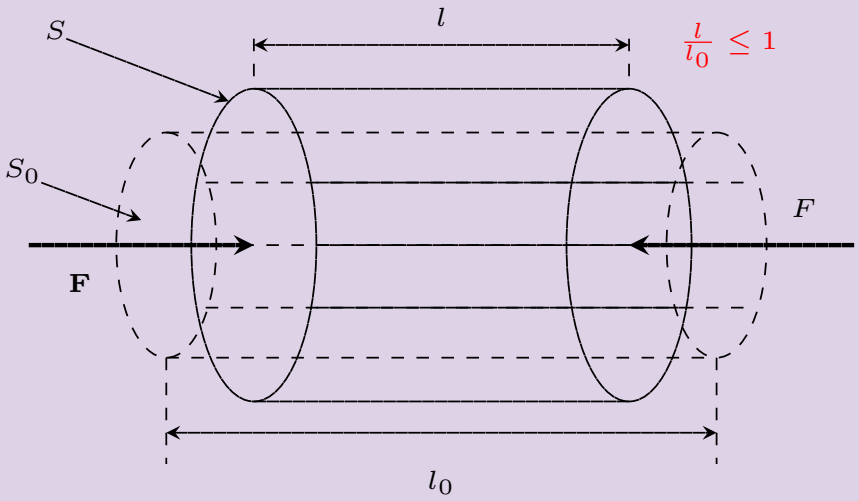
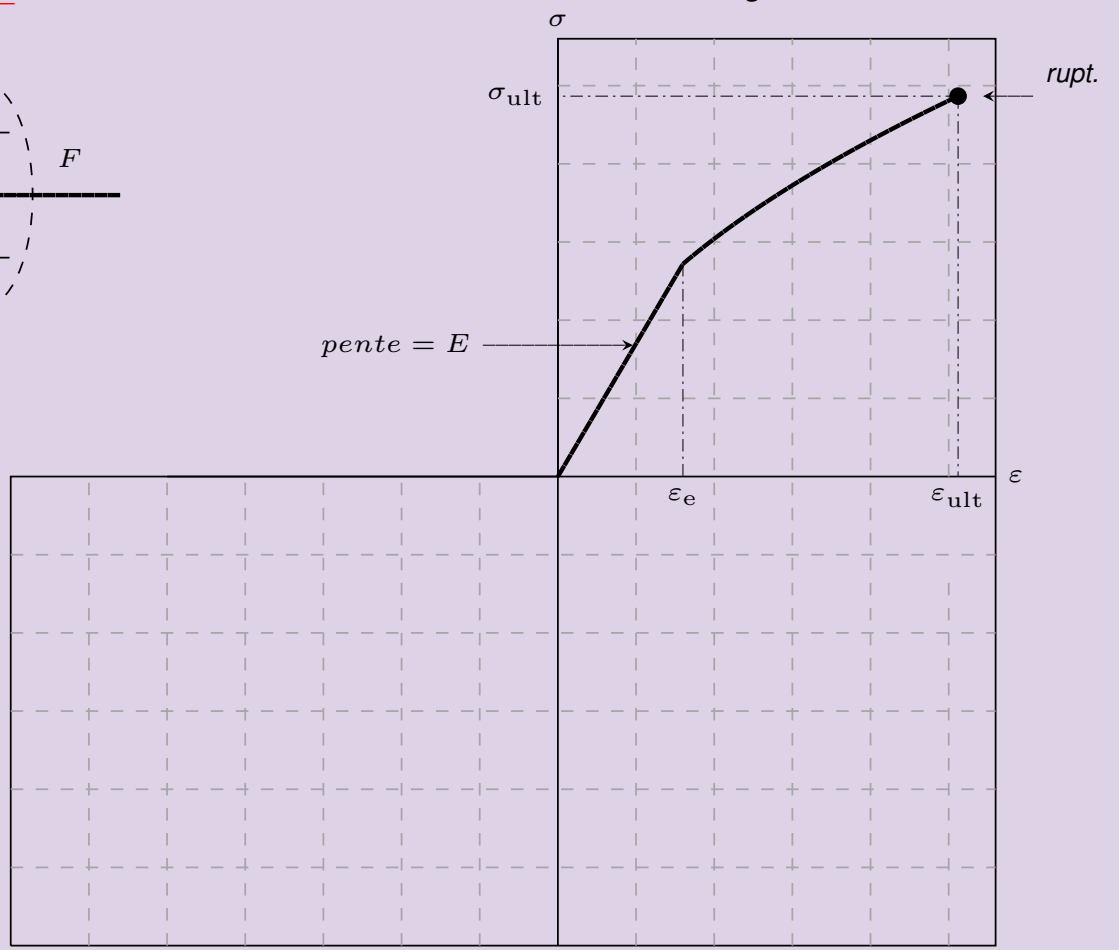
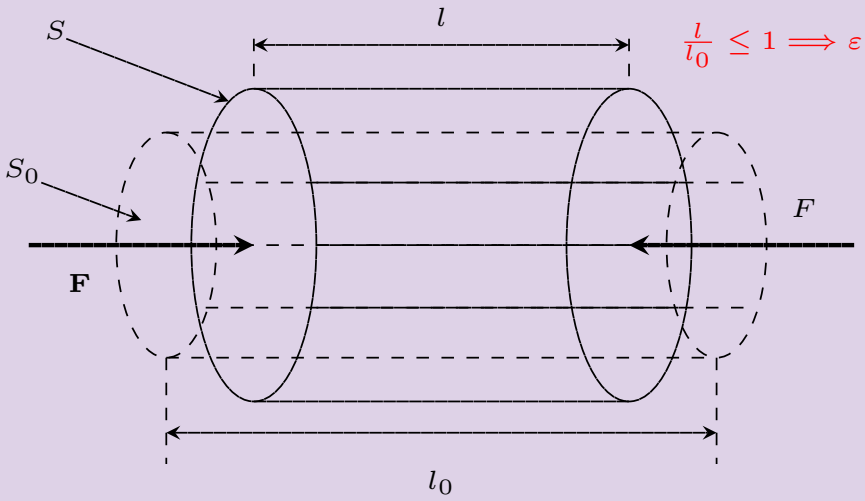


Fig.11 Courbe de traction réelle



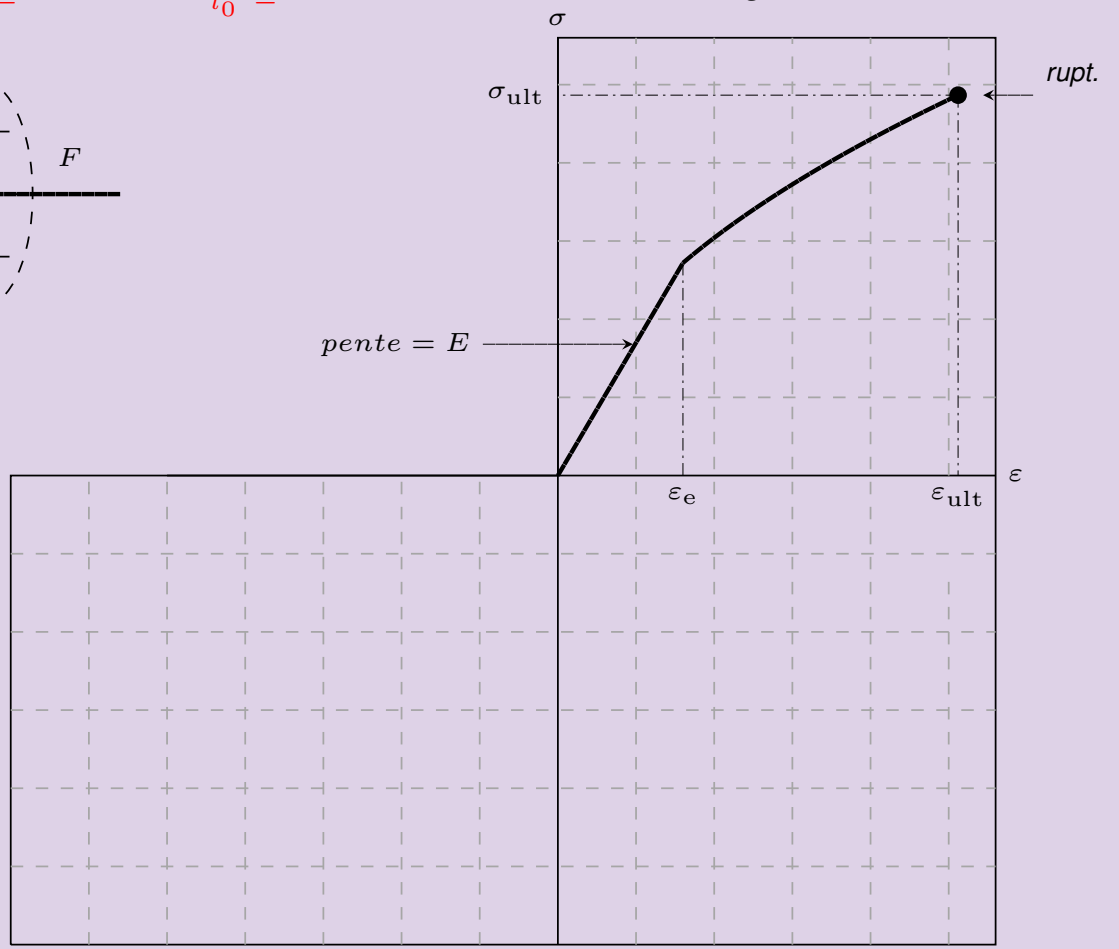
Le taux de déformation est bien négatif

2.10.1 L'expérience de compression



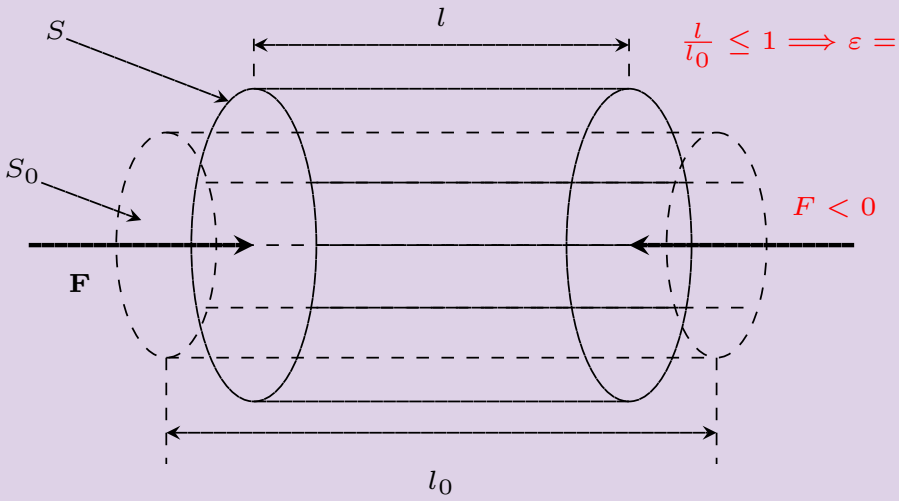
$\frac{l}{l_0} \leq 1 \Longrightarrow \varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \leq 0$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



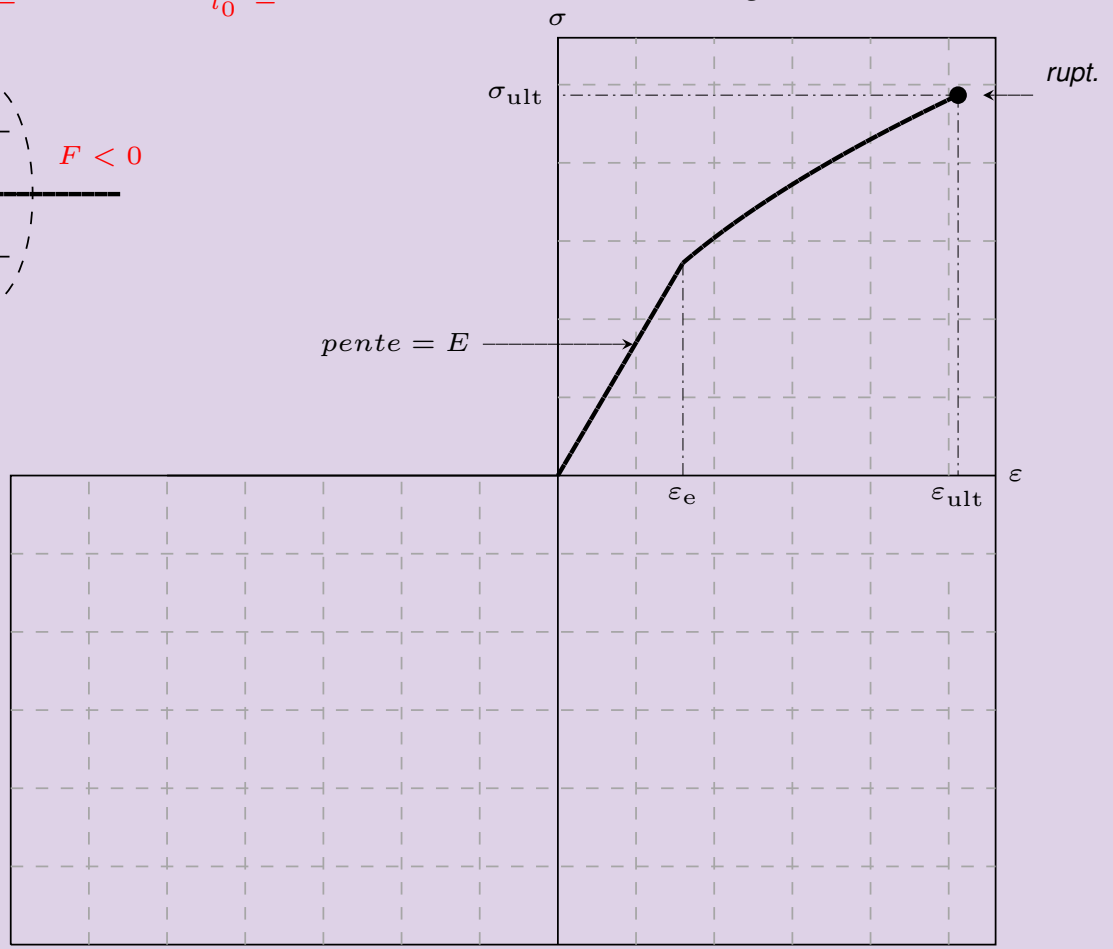
Le taux de déformation est bien négatif

2.10.1 L'expérience de compression



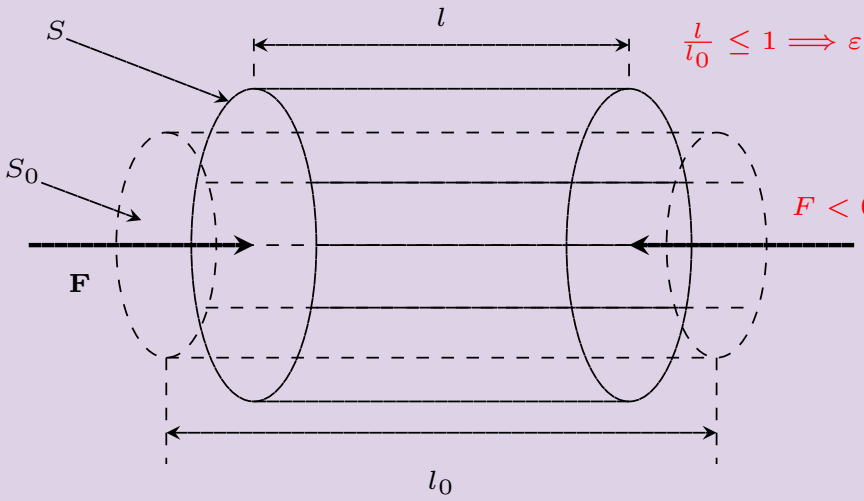
$$\frac{l}{l_0} \leq 1 \Longrightarrow \varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \leq 0$$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



De même que la force et donc la contrainte

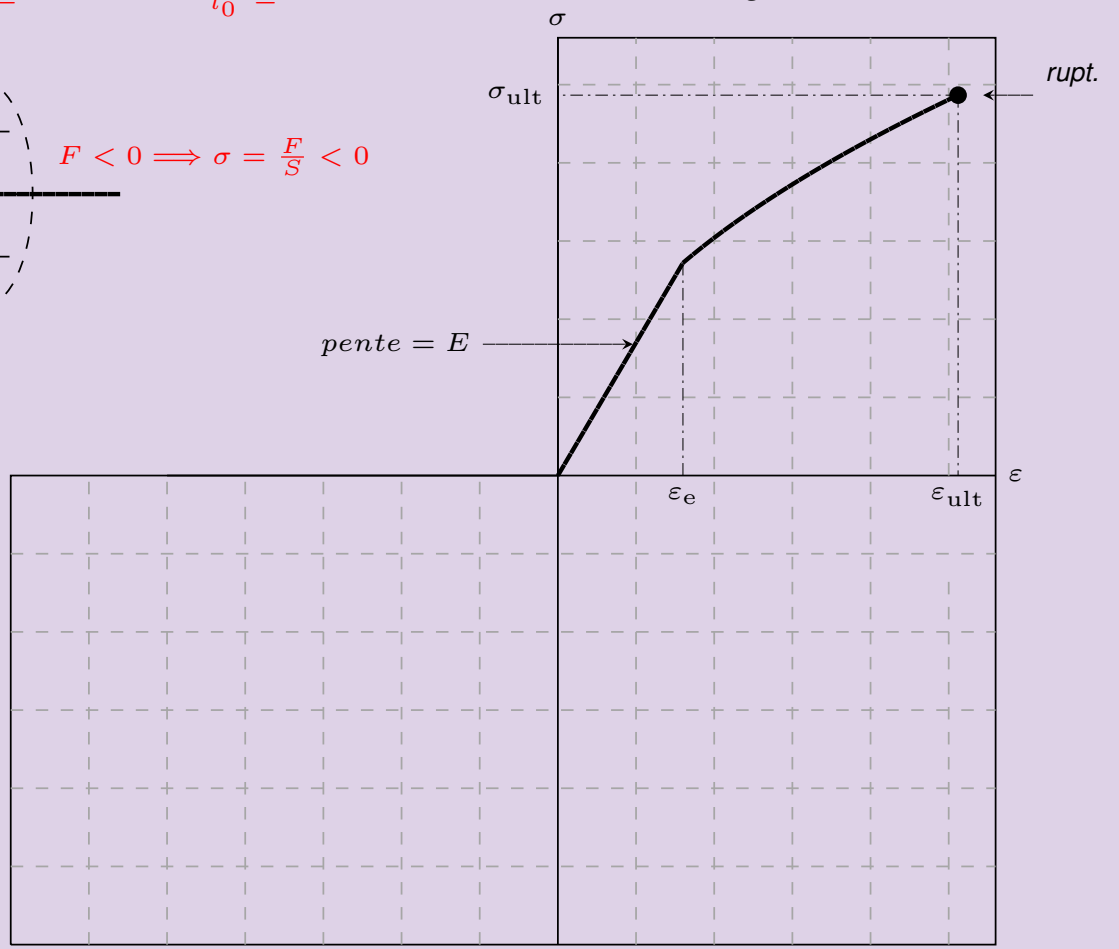
2.10.1 L'expérience de compression



$\frac{l}{l_0} \leq 1 \Longrightarrow \varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \leq 0$

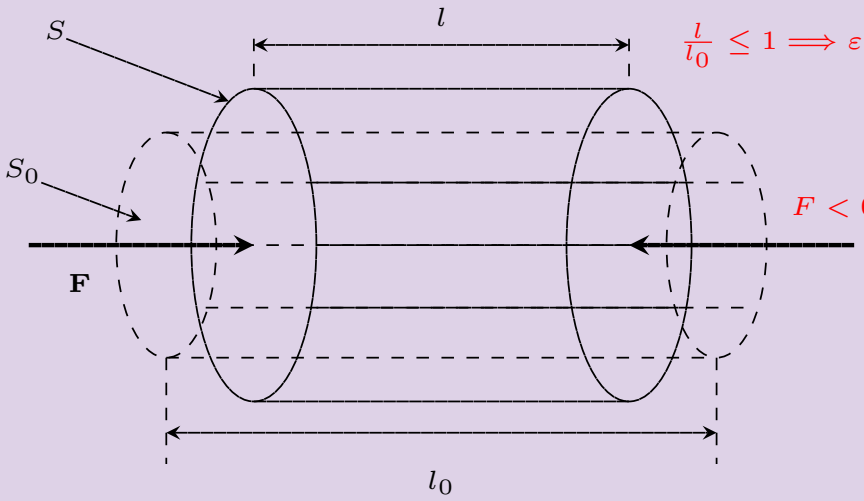
$F < 0 \Longrightarrow \sigma = \frac{F}{S} < 0$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



De même que la force et donc la contrainte

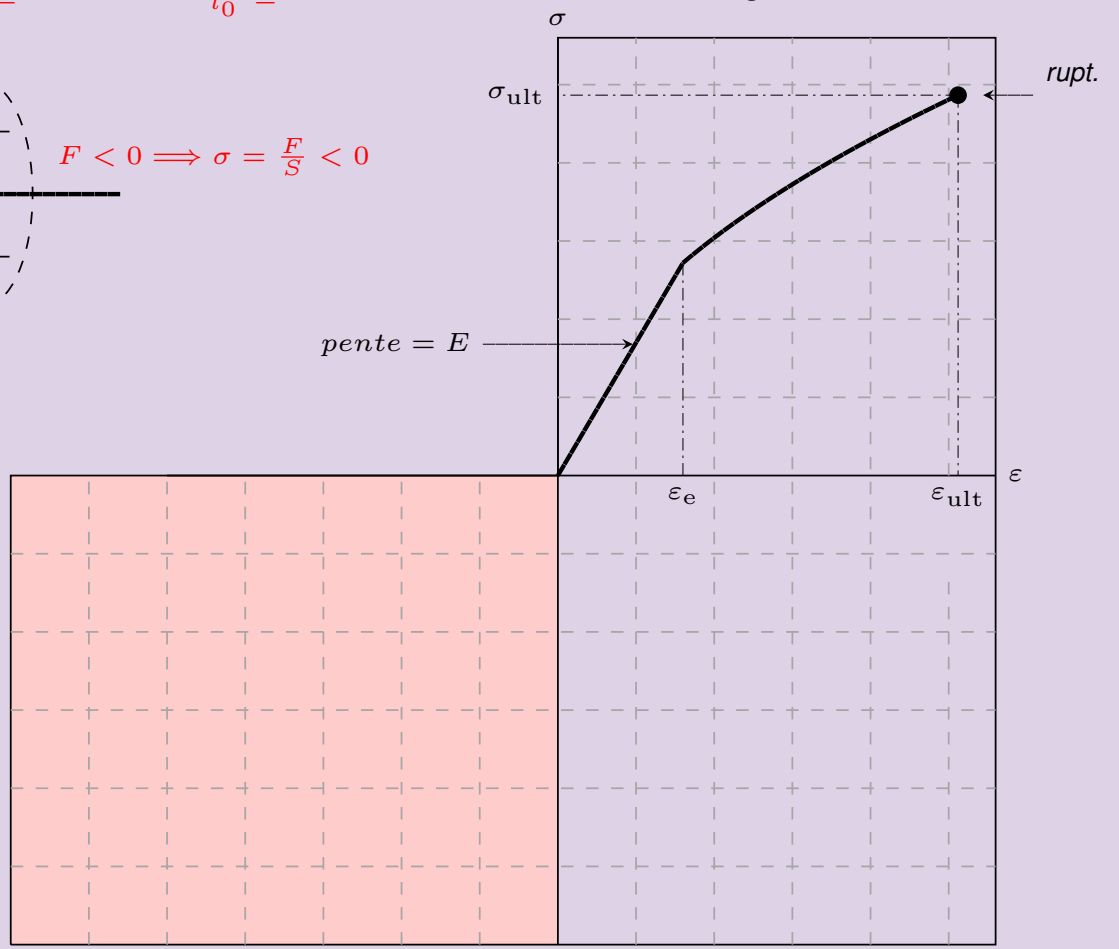
2.10.1 L'expérience de compression



$$\frac{l}{l_0} \leq 1 \Longrightarrow \varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \leq 0$$

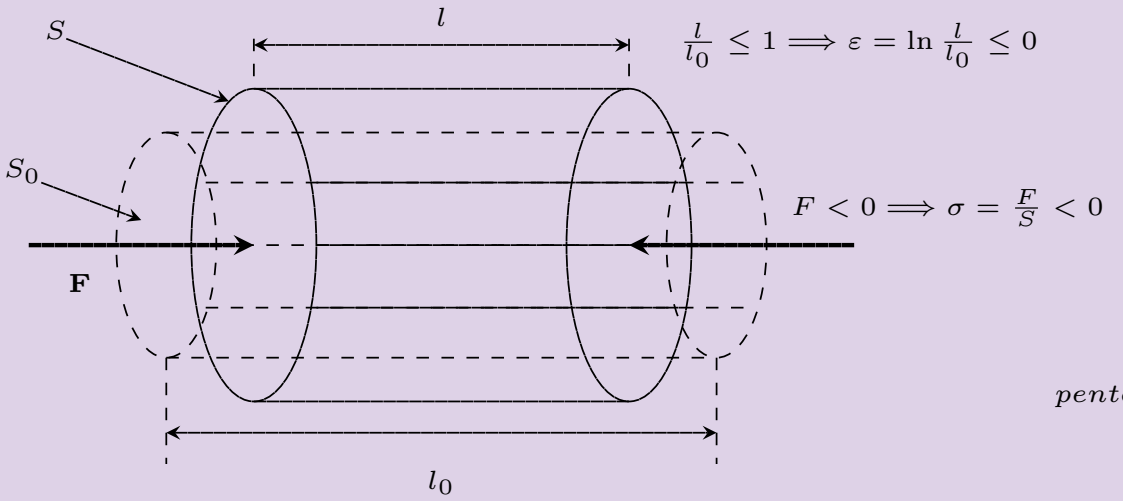
$$F < 0 \Longrightarrow \sigma = \frac{F}{S} < 0$$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



L'expérience de compression permettra donc de compléter la courbe de traction réelle dans le $3^{\text{ème}}$ cadran.

2.10.1 L'expérience de compression



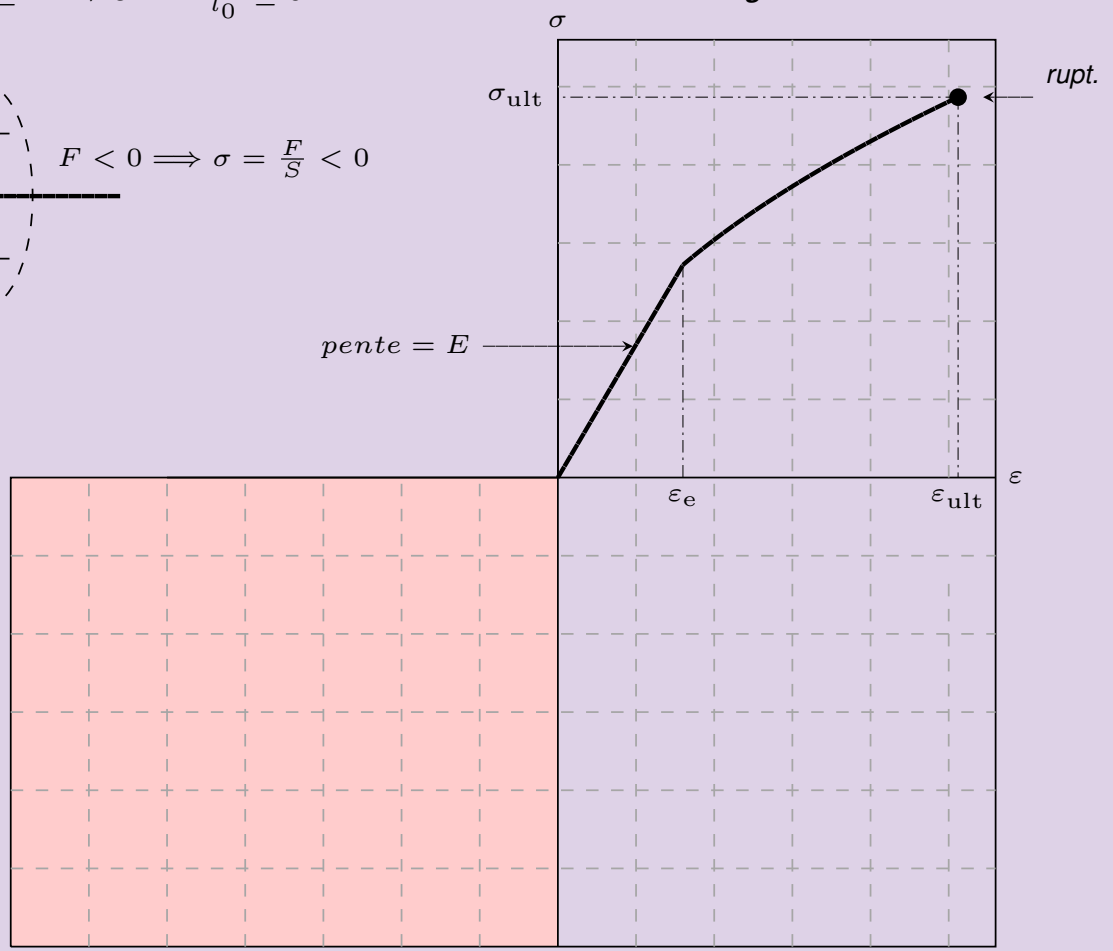


Fig.11 *Courbe de traction réelle*

- ATTENTION : il faut soncevoir 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

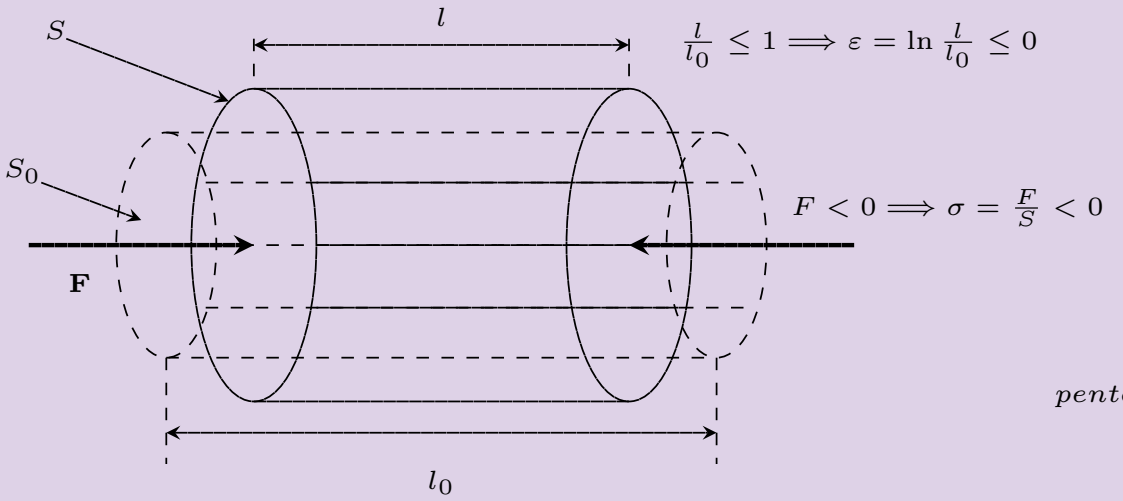
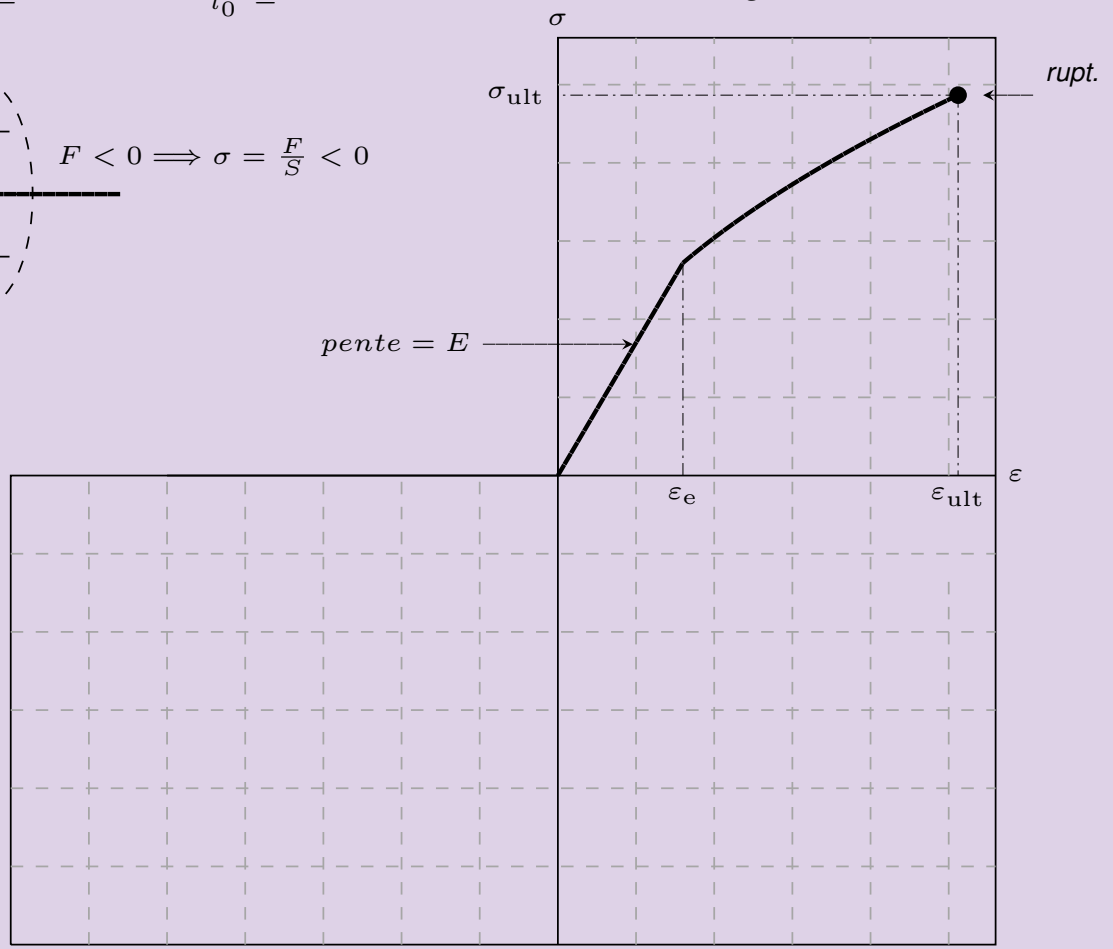


Fig.11 *Courbe de traction réelle*



On a d'abord une descente élastique suivie d'un écrouissage qui se termine en rupture

2.10.1 L'expérience de compression

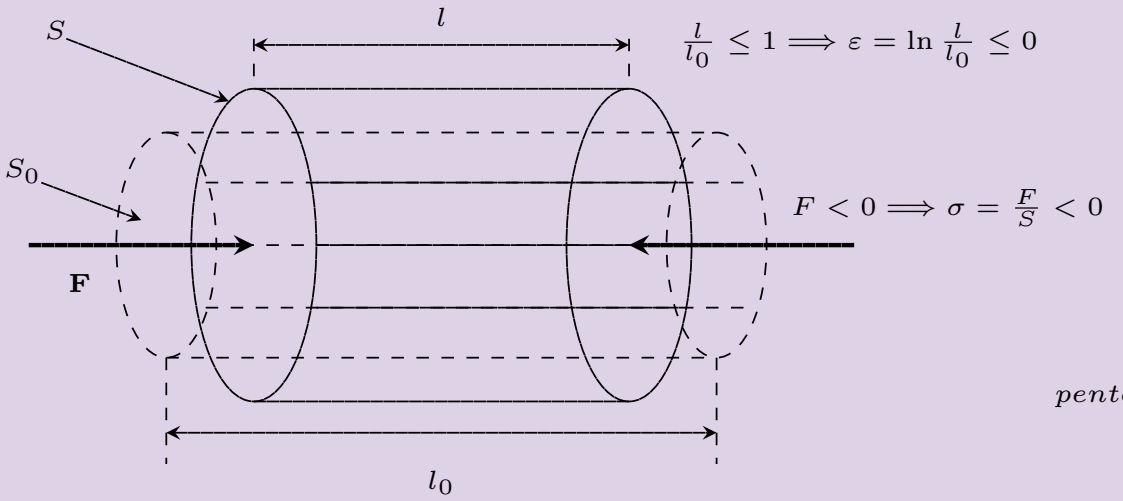
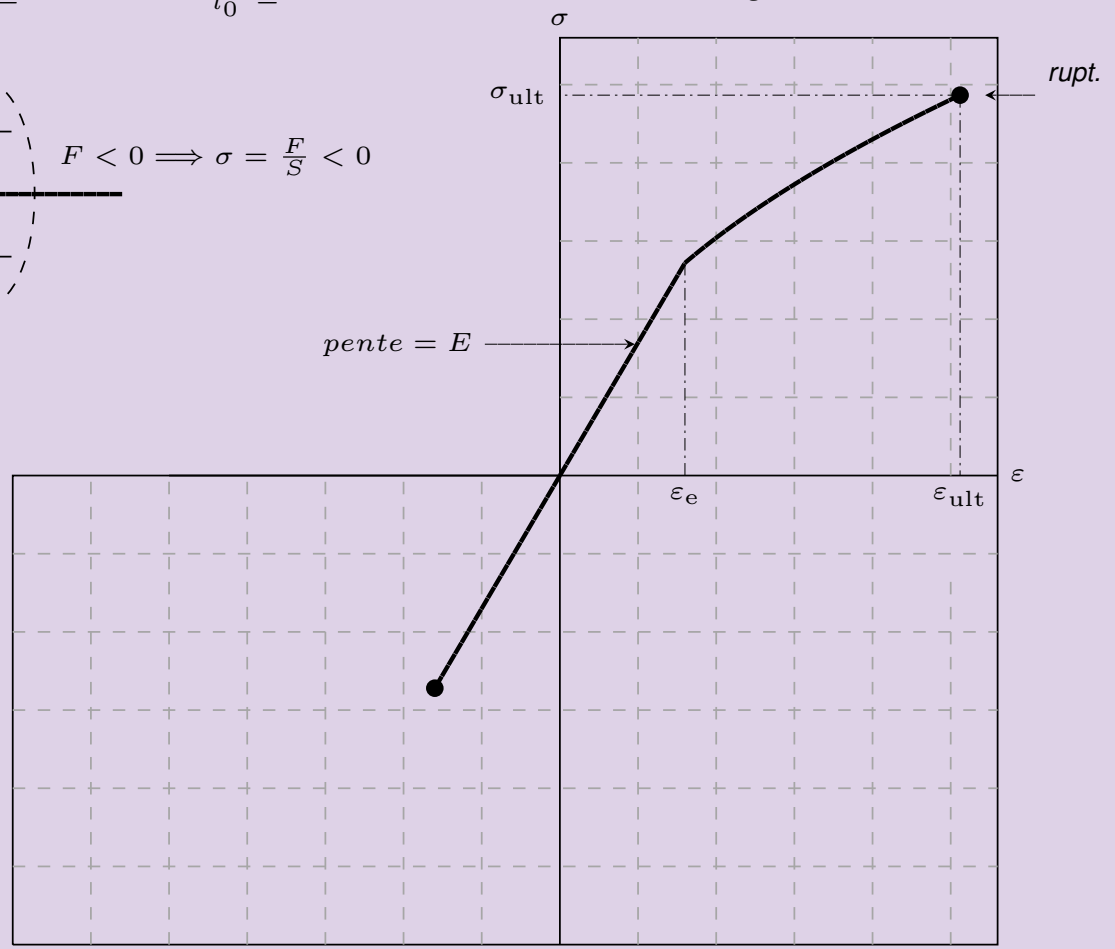


Fig.11 *Courbe de traction réelle*



On a d'abord une descente élastique suivie d'un écrouissage qui se termine en rupture

2.10.1 L'expérience de compression

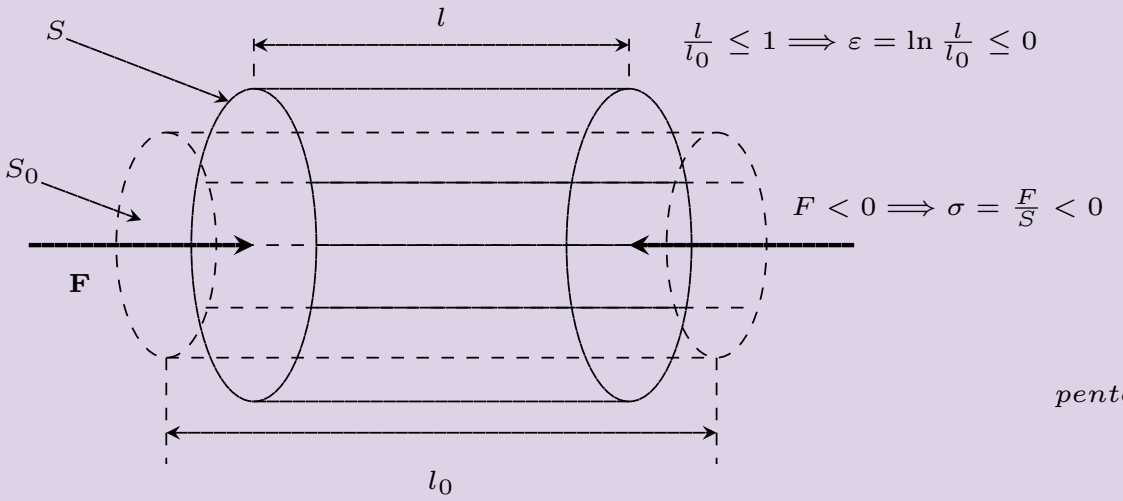
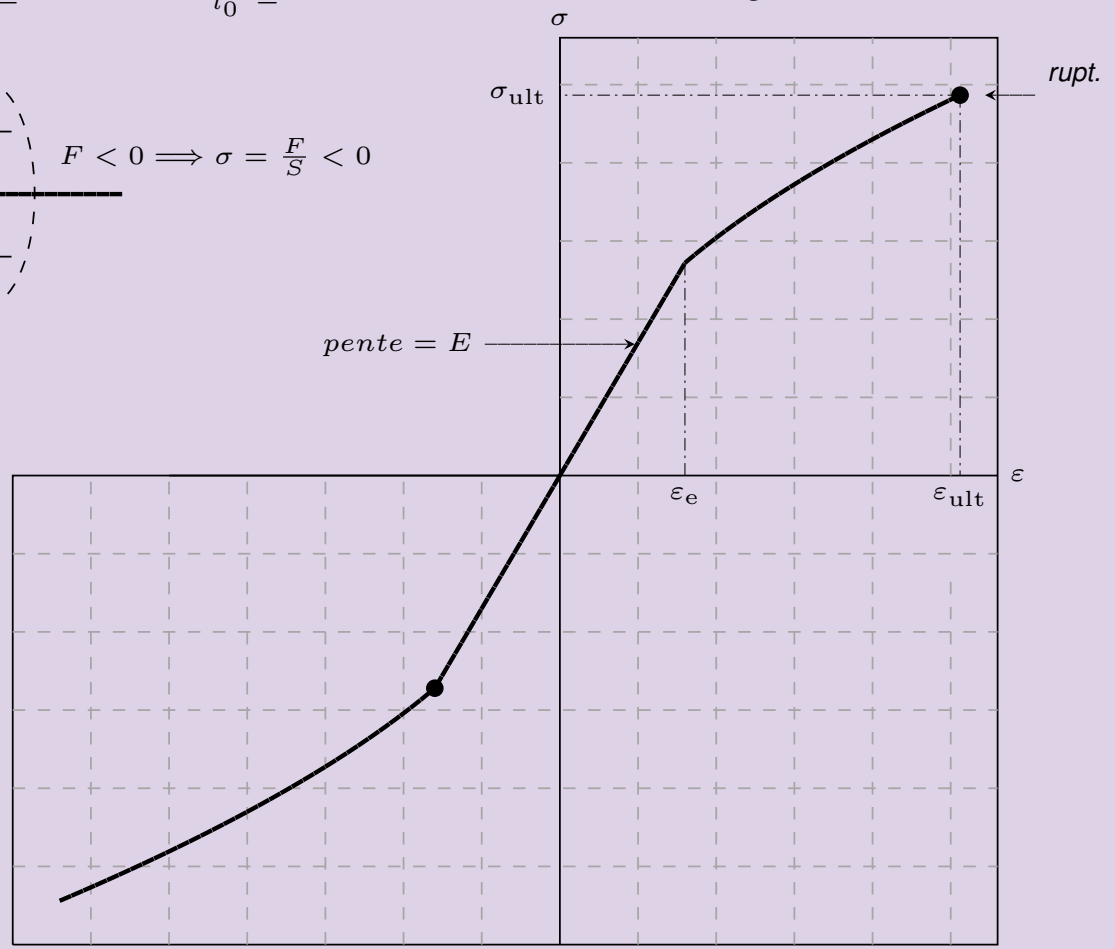


Fig.11 *Courbe de traction réelle*



On a d'abord une descente élastique suivie d'un écrouissage qui se termine en rupture

2.10.1 L'expérience de compression

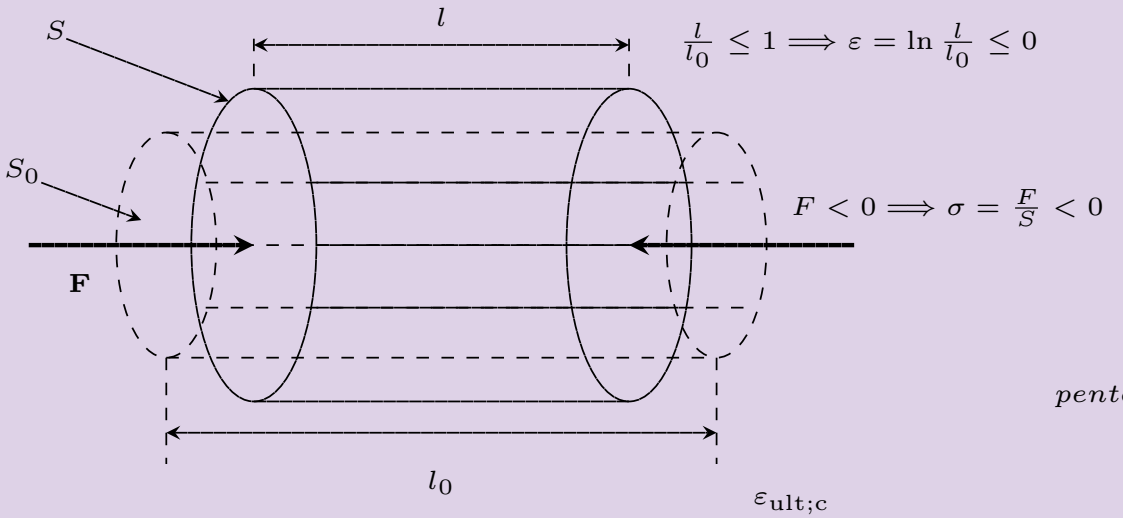
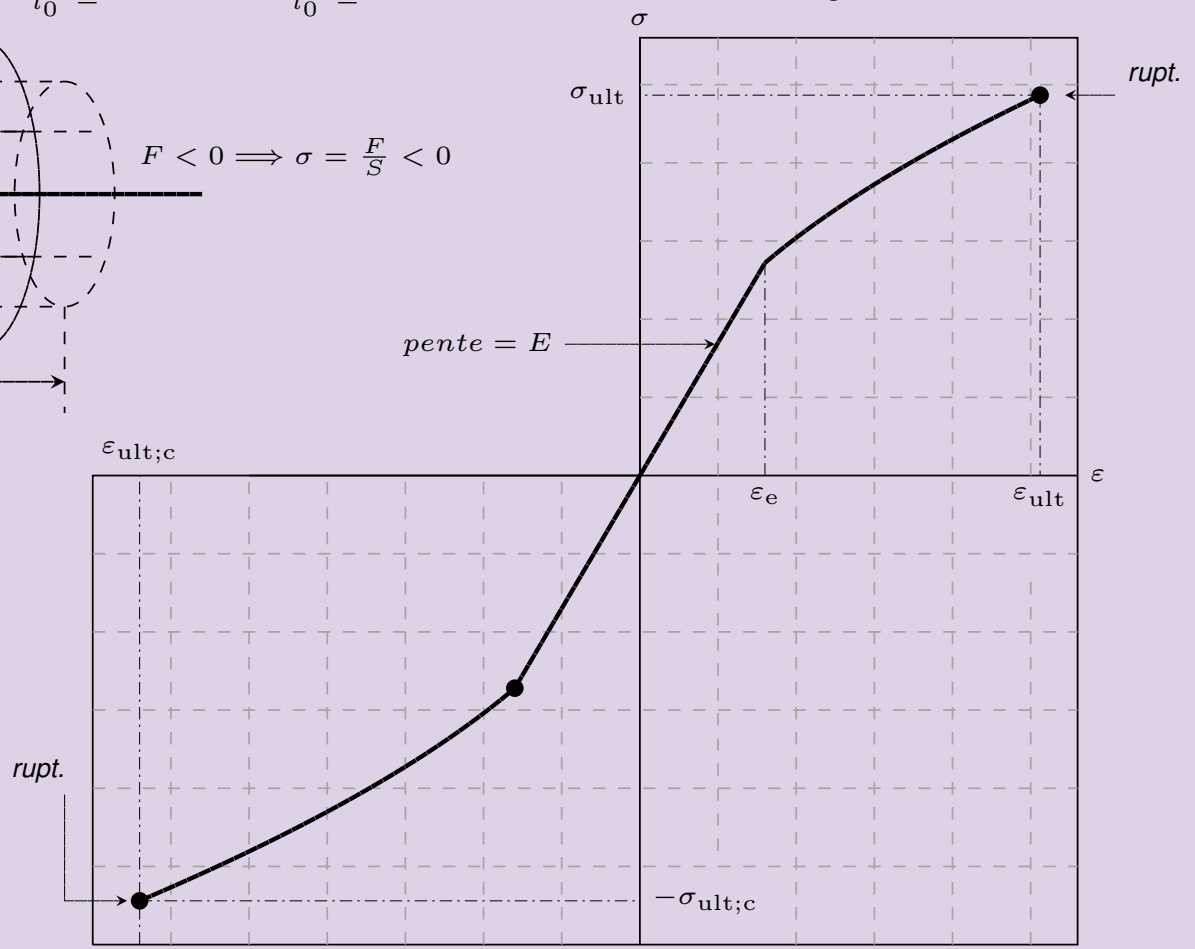


Fig.11 *Courbe de traction réelle*



On a d'abord une descente élastique suivie d'un écrouissage qui se termine en rupture

2.10.1 L'expérience de compression

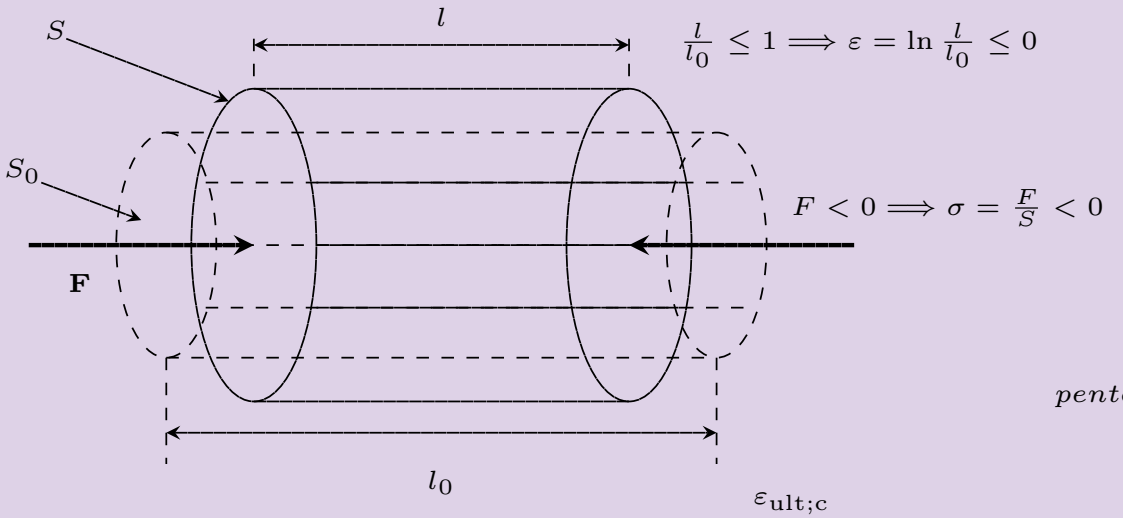
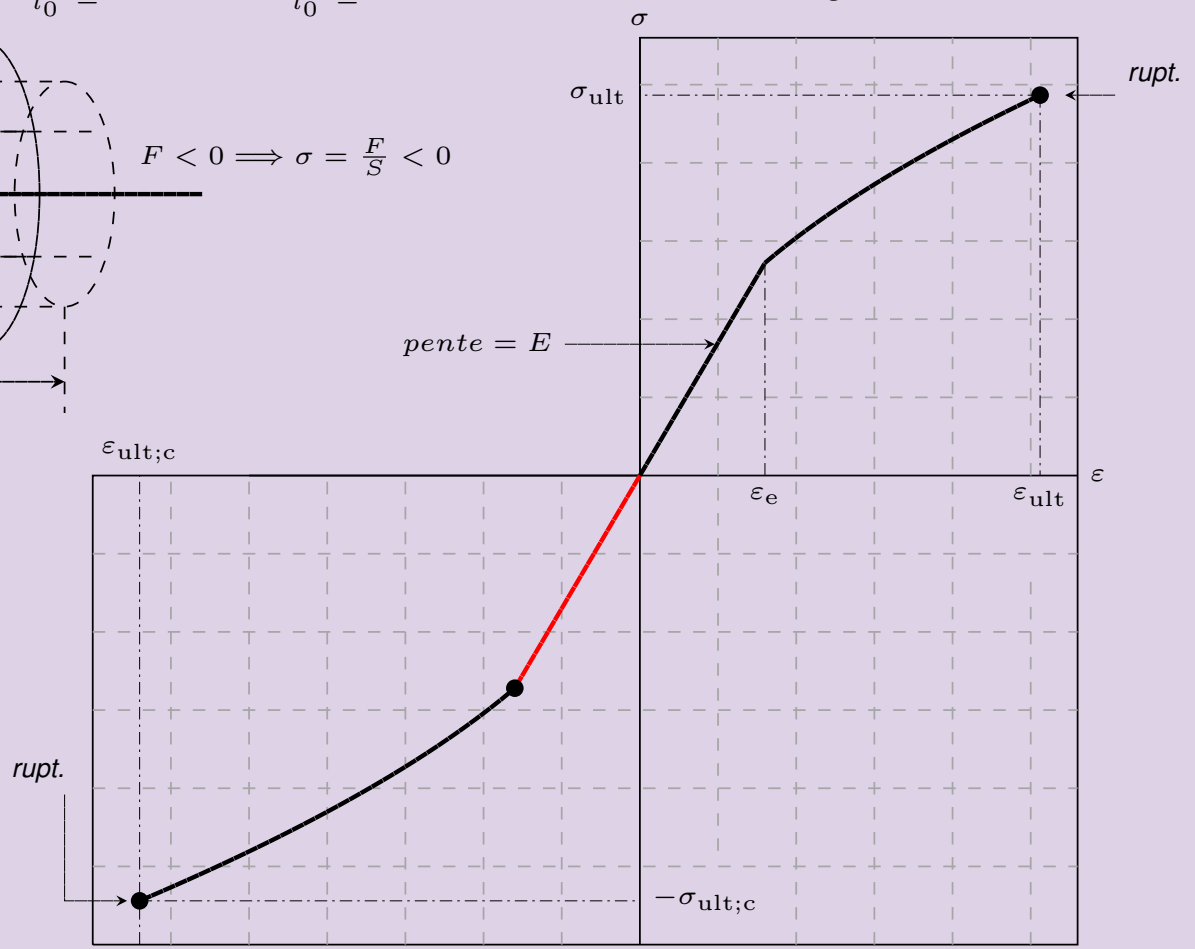


Fig.11 Courbe de traction réelle



La descente élastique est EXACTEMENT une droite de même pente que la montée !

2.10.1 L'expérience de compression

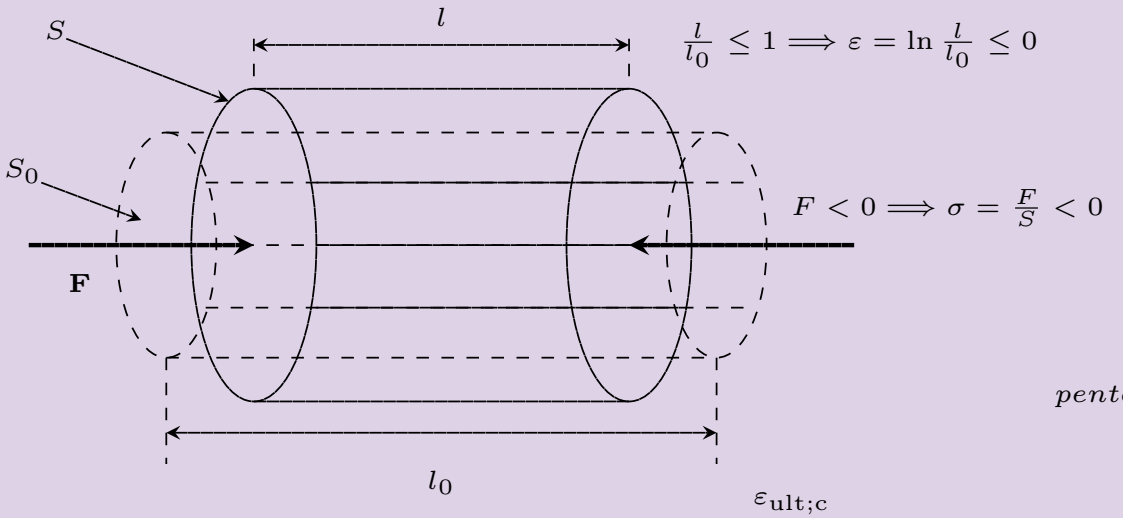
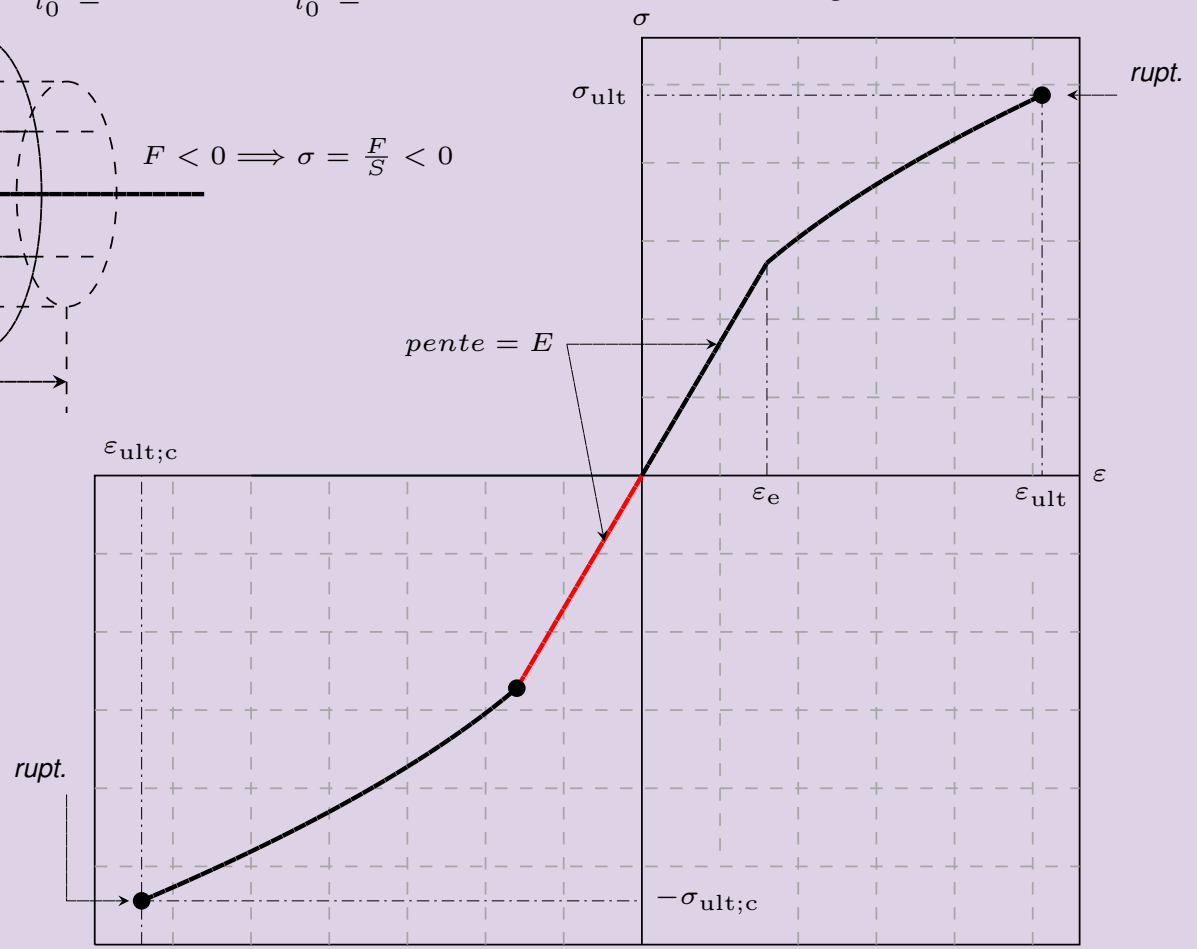


Fig.11 *Courbe de traction réelle*



La descente élastique est EXACTEMENT une droite de même pente que la montée !

2.10.1 L'expérience de compression

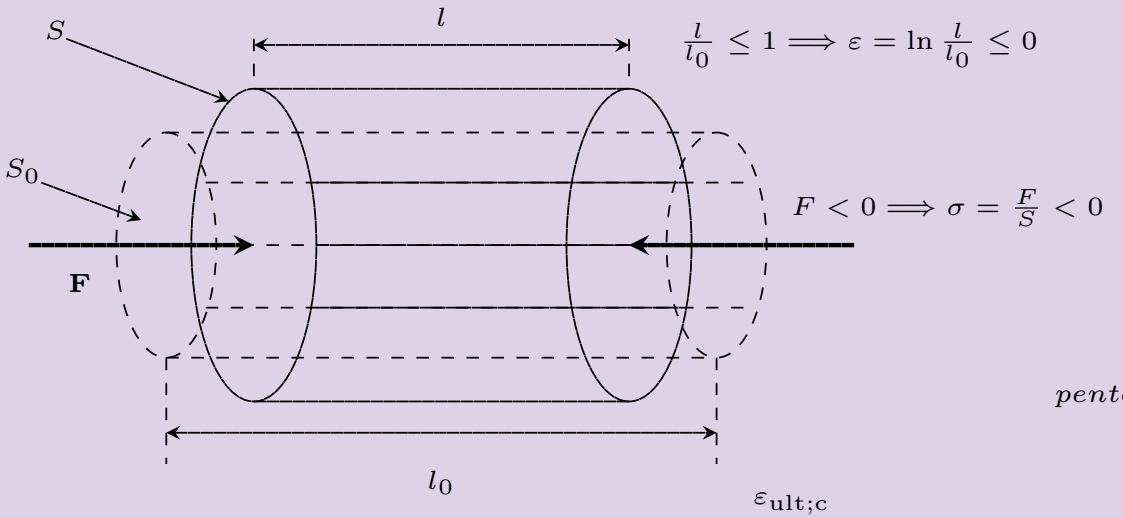
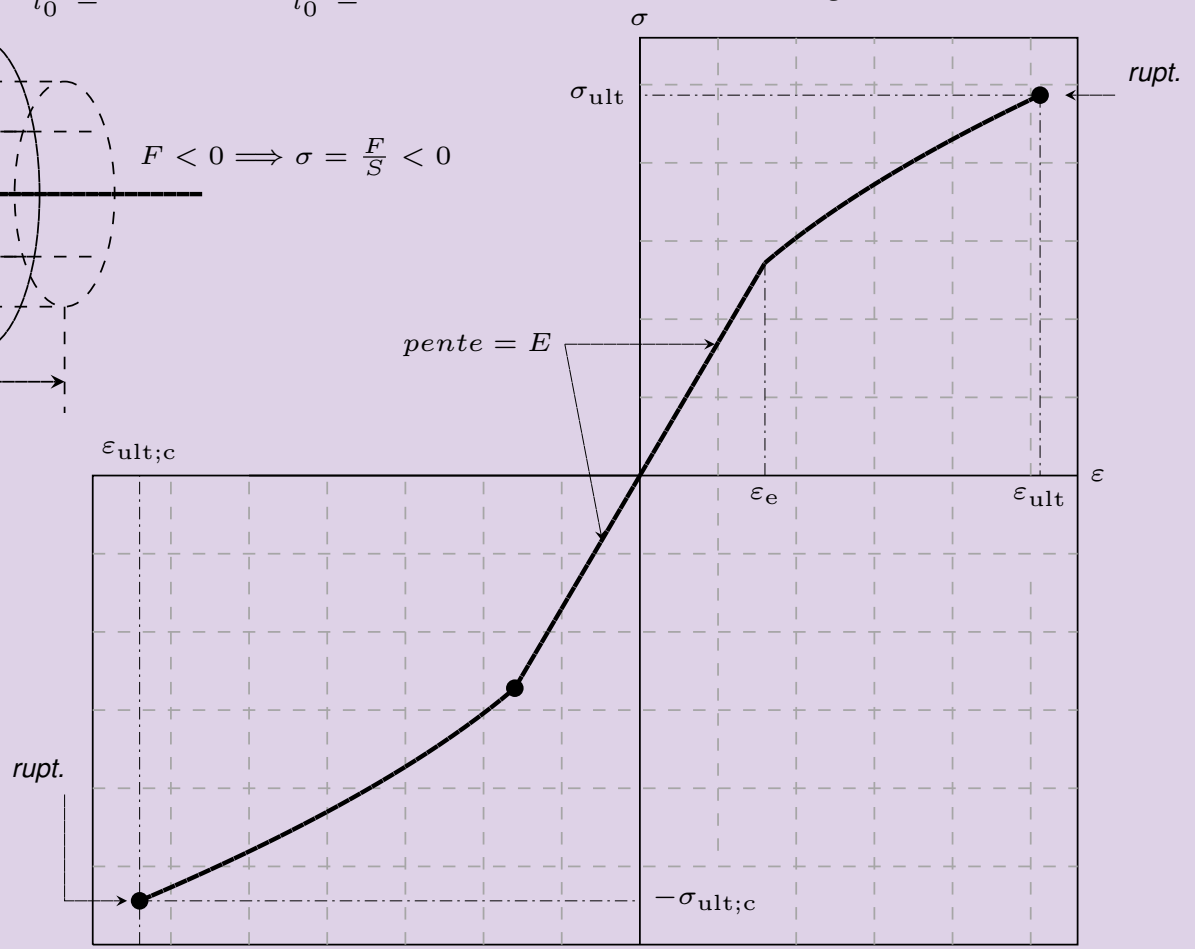
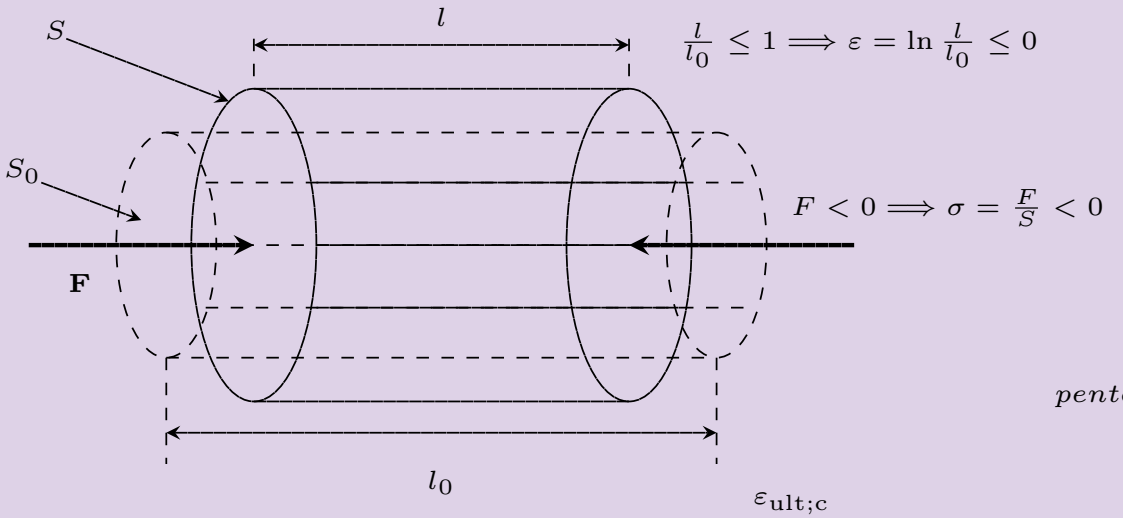


Fig.11 Courbe de traction réelle



Dans le domaine élastique la matière se comporte de façon identique en compression et en traction

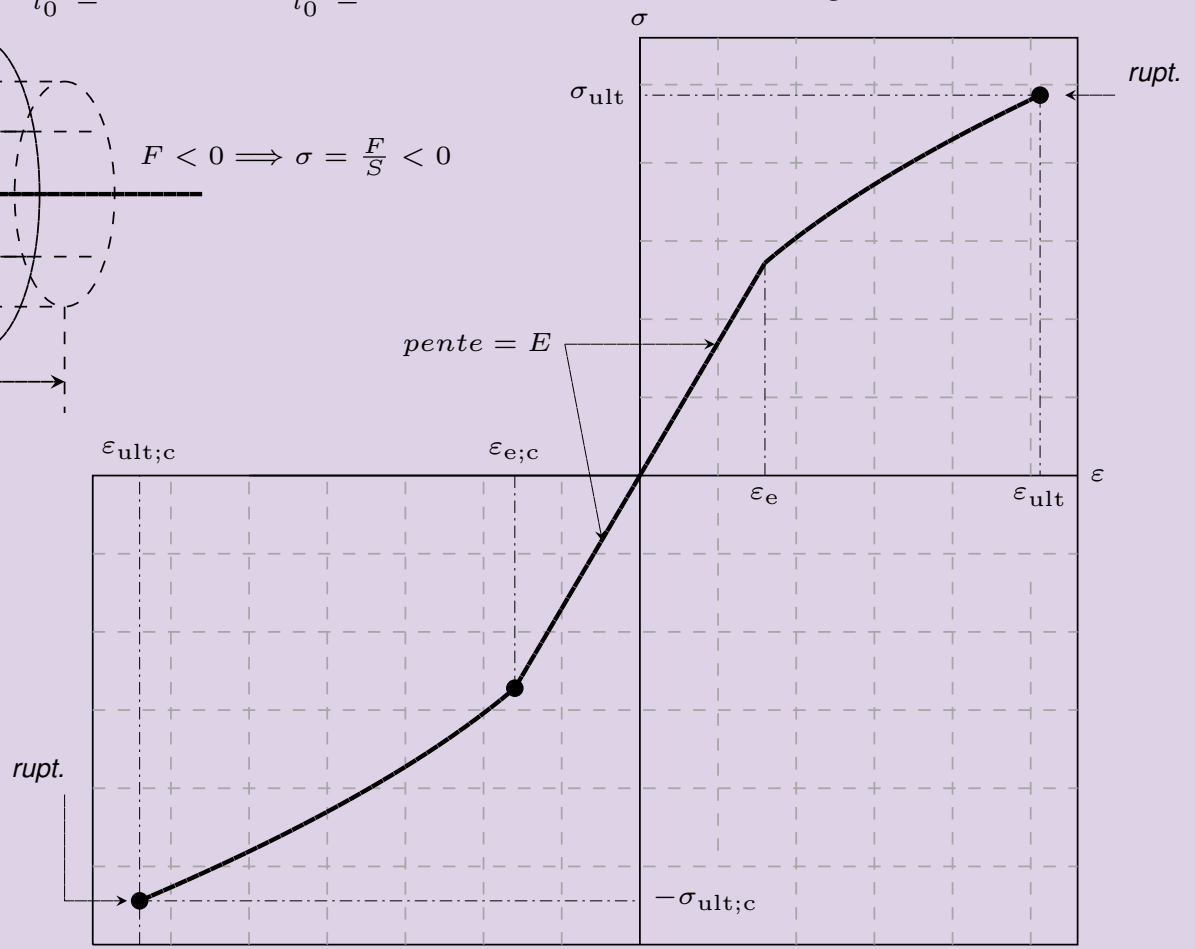
2.10.1 L'expérience de compression



En général :

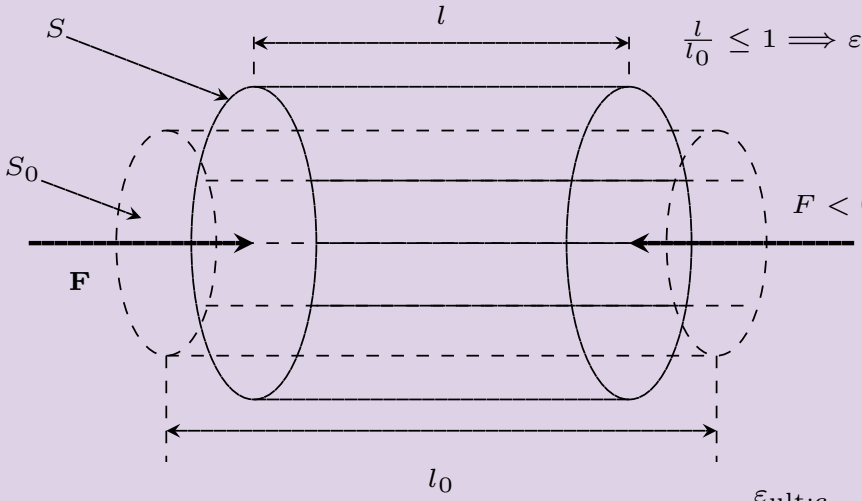
$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$ *et* $K_c = K$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



Sauf effet Bauschiger, le taux de déformation réel en limite élastique est le "même" en traction et en compression

2.10.1 L'expérience de compression



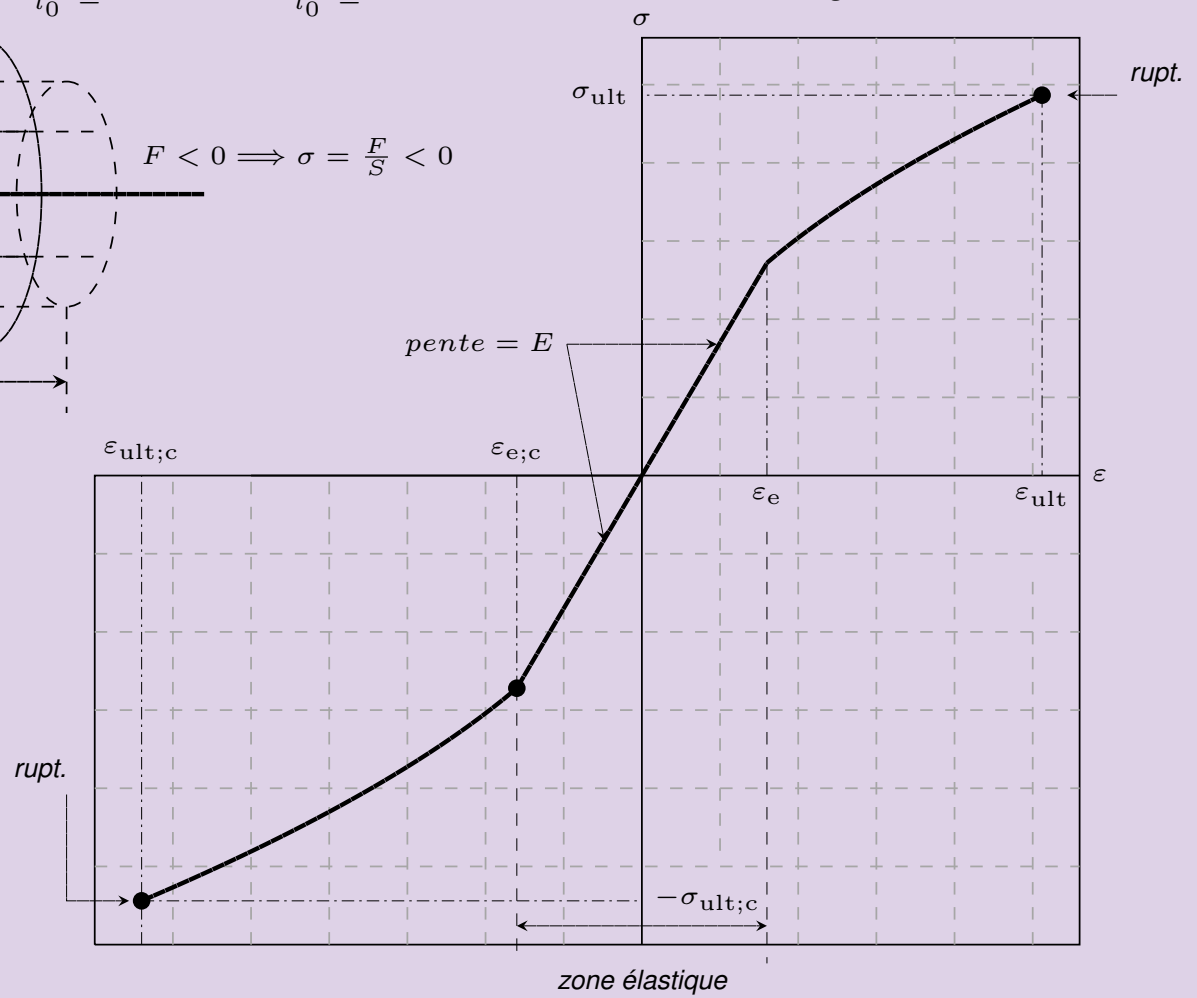
$$\frac{l}{l_0} \leq 1 \Longrightarrow \varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \leq 0$$

$$F < 0 \Longrightarrow \sigma = \frac{F}{S} < 0$$

En général :

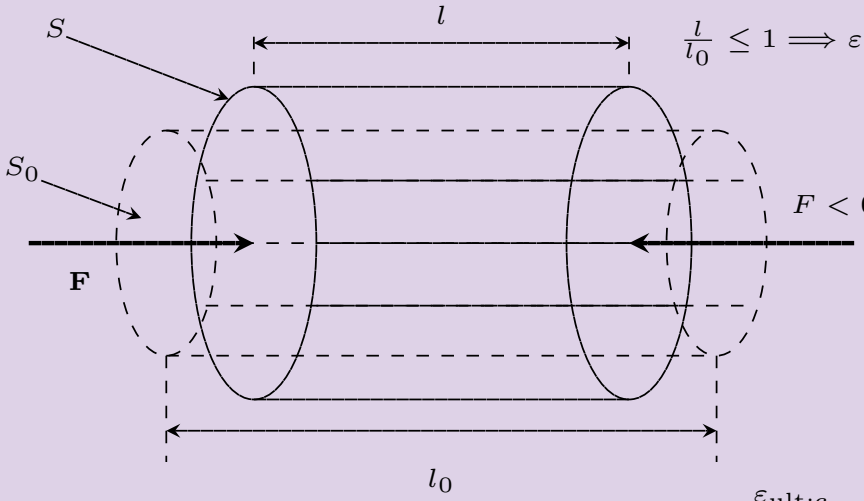
$$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e \quad et \; K_c = K$$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



On obtient un domaine élastique centrale et deux zones plastiques à l'extérieur. En compr. une loi de Ludwik est légitime

2.10.1 L'expérience de compression



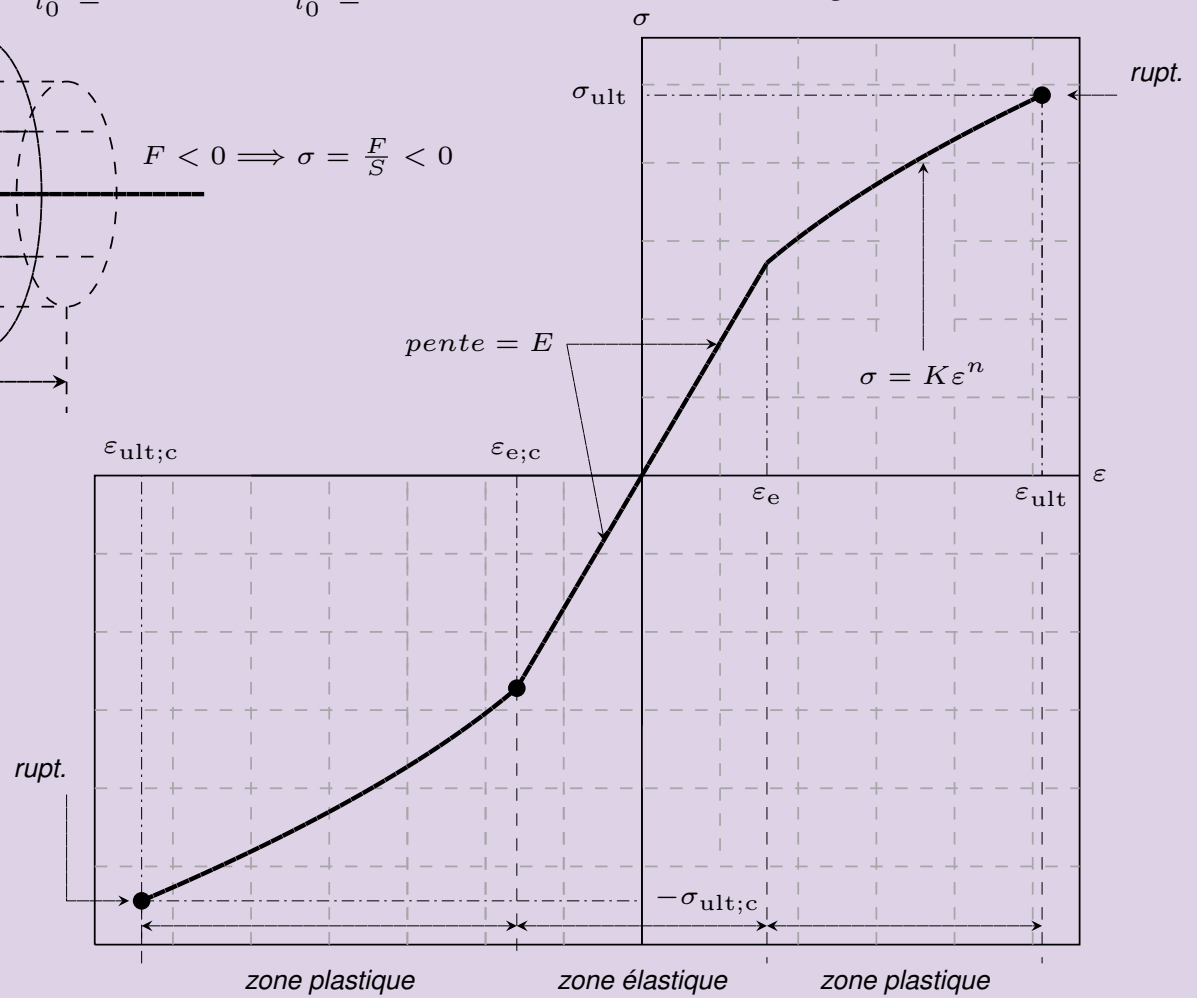
$$\frac{l}{l_0} \leq 1 \Longrightarrow \varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \leq 0$$

$$F < 0 \Longrightarrow \sigma = \frac{F}{S} < 0$$

En général :

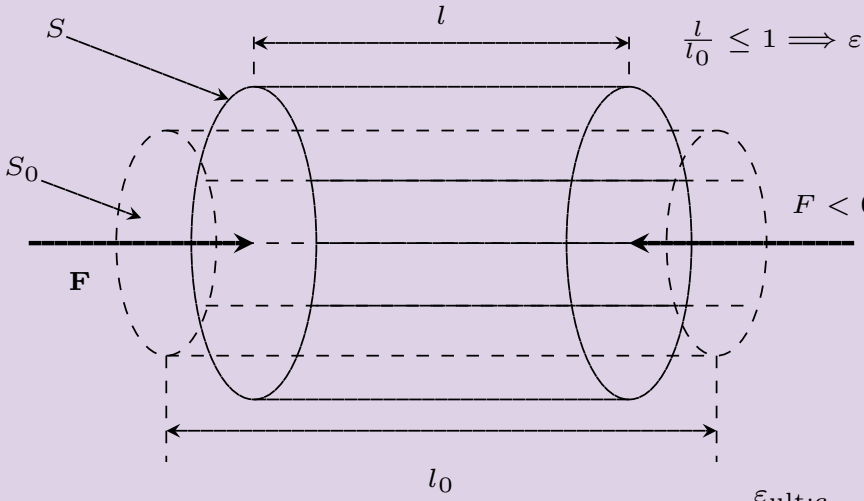
$$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e \quad et \; K_c = K$$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



On obtient un domaine élastique centrale et deux zones plastiques à l'extérieur. En compr. une loi de Ludwik est légitime

2.10.1 L'expérience de compression



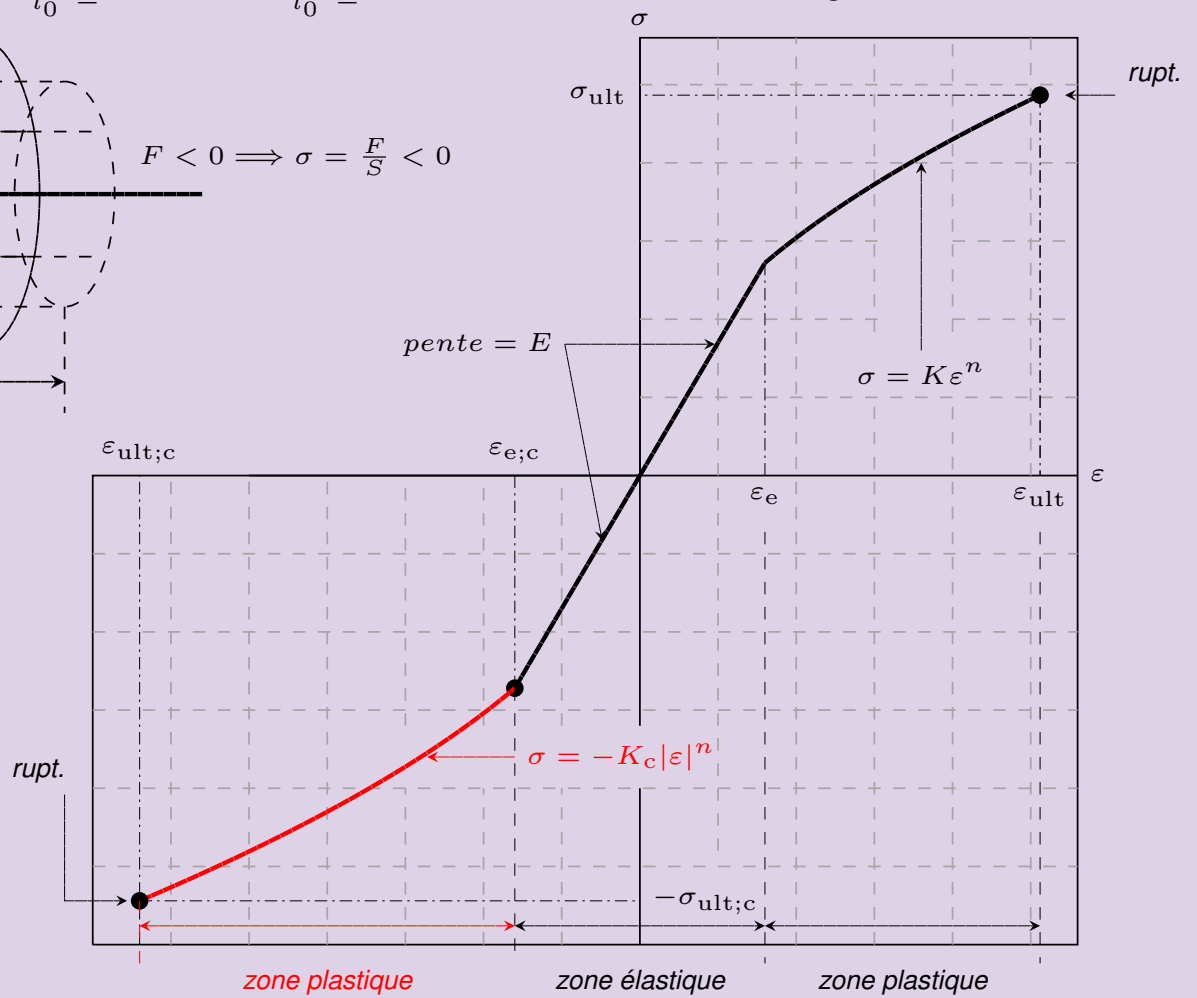
$$\frac{l}{l_0} \leq 1 \Longrightarrow \varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} \leq 0$$

$$F < 0 \Longrightarrow \sigma = \frac{F}{S} < 0$$

En général :

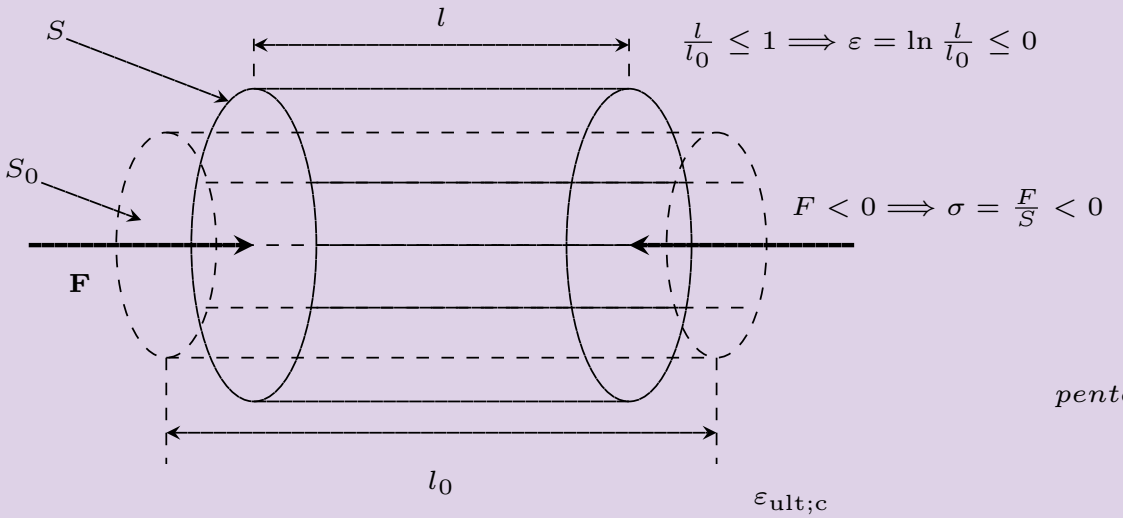
$$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e \quad et \; K_c = K$$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



On obtient un domaine élastique centrale et deux zones plastiques à l'extérieur. En compr. une loi de Ludwik est légitime

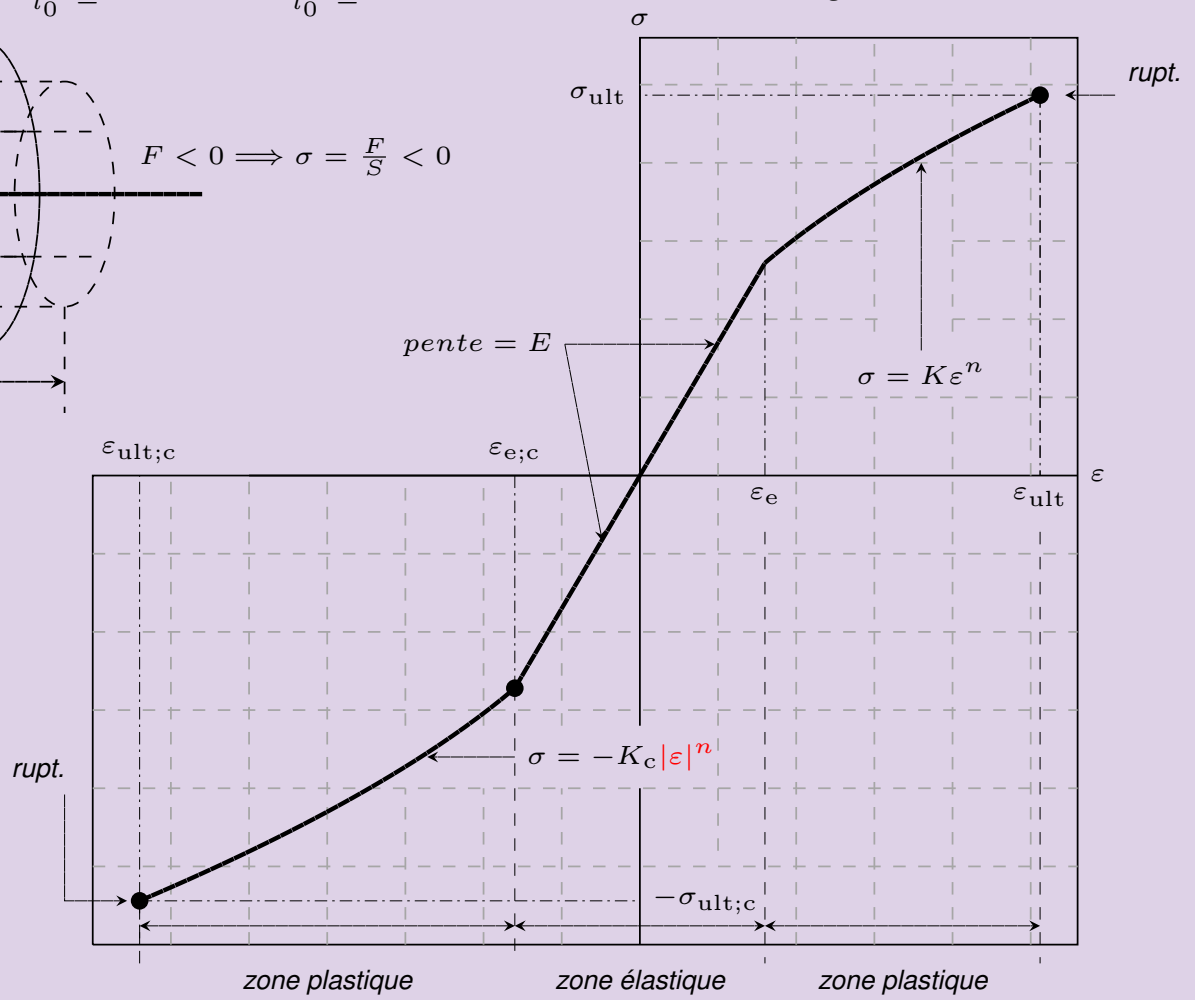
2.10.1 L'expérience de compression



En général :

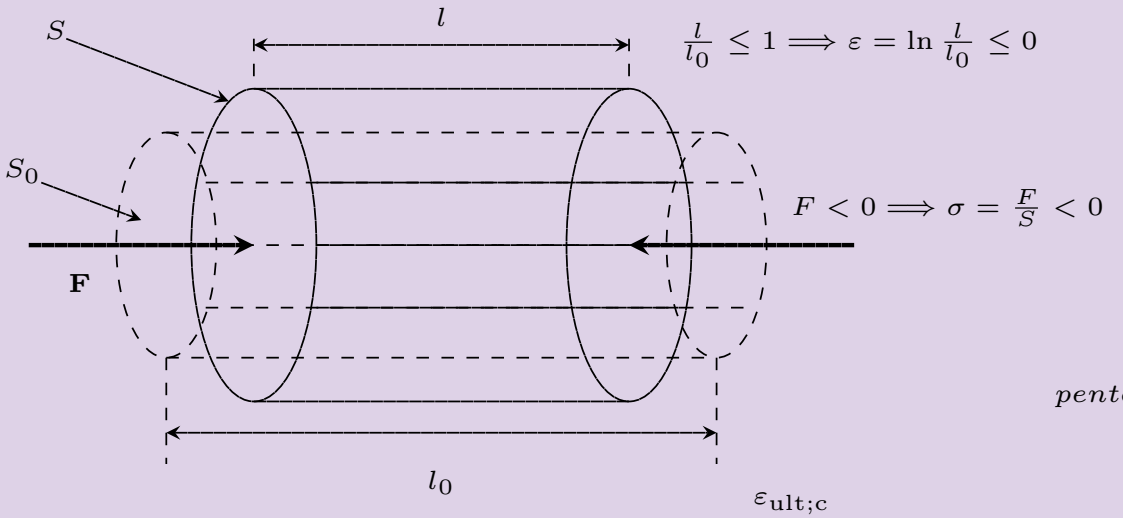
$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$ *et* $K_c = K$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



ATTENTION : l'utilisation de la valeur absolue sous l'exposant non entier est nécessaire

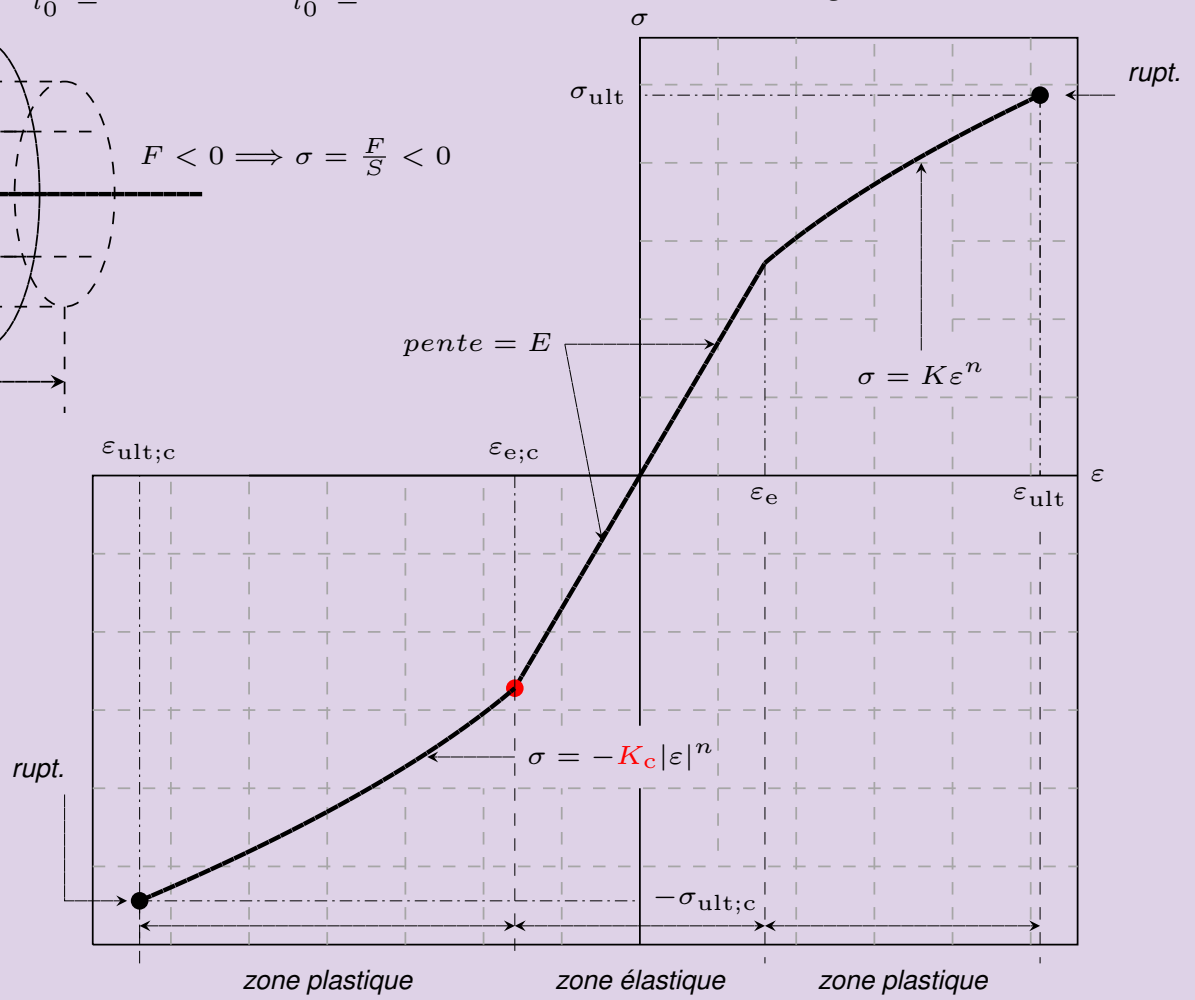
2.10.1 L'expérience de compression



En général :

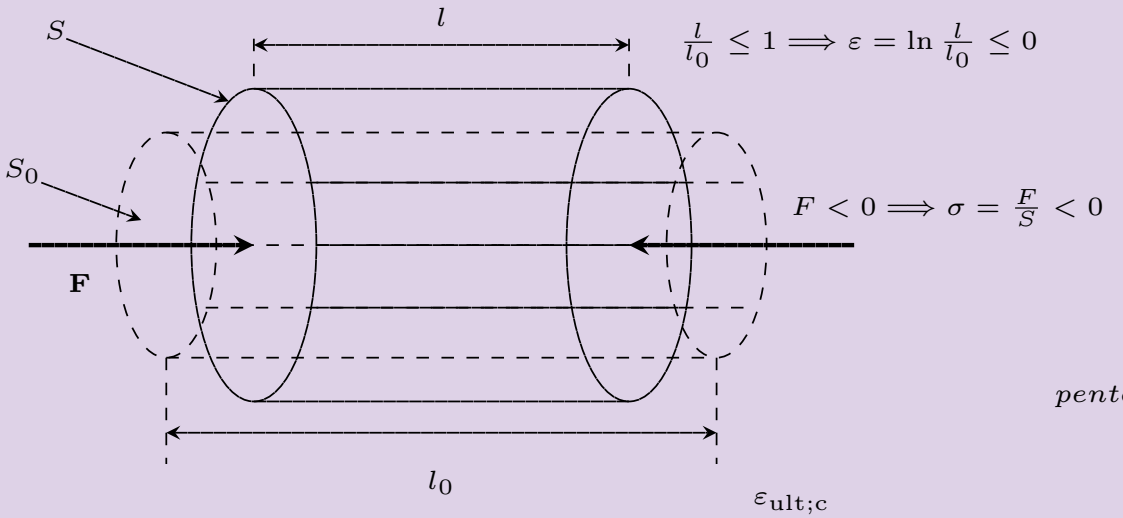
$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$ *et* $K_c = K$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



Le module d'écroussiage en compr. est lié au module d'Young : $K_c = E|\varepsilon_{e;c}|^{1-n}$ donc $K_c = K$ si $\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$

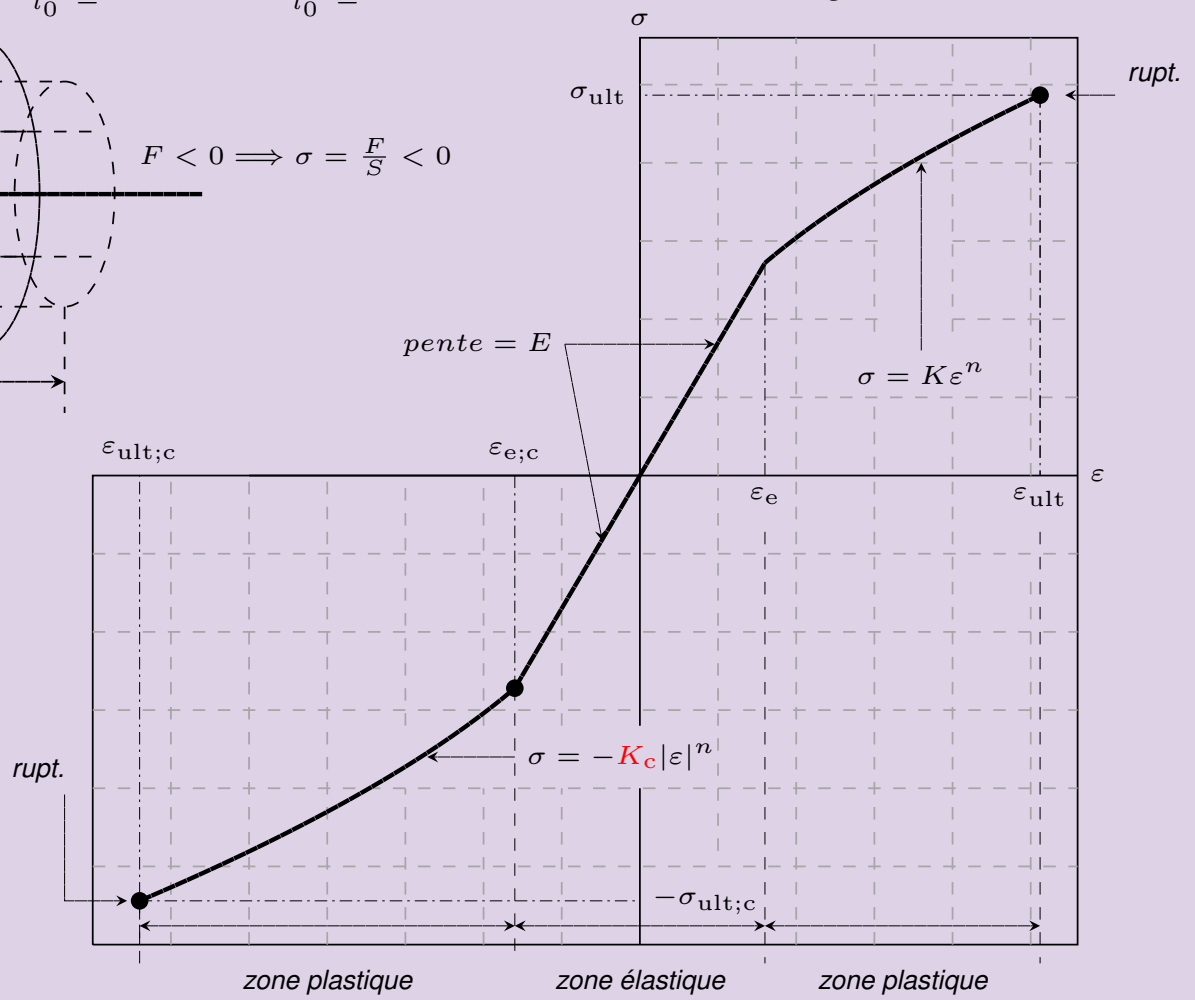
2.10.1 L'expérience de compression



En général :

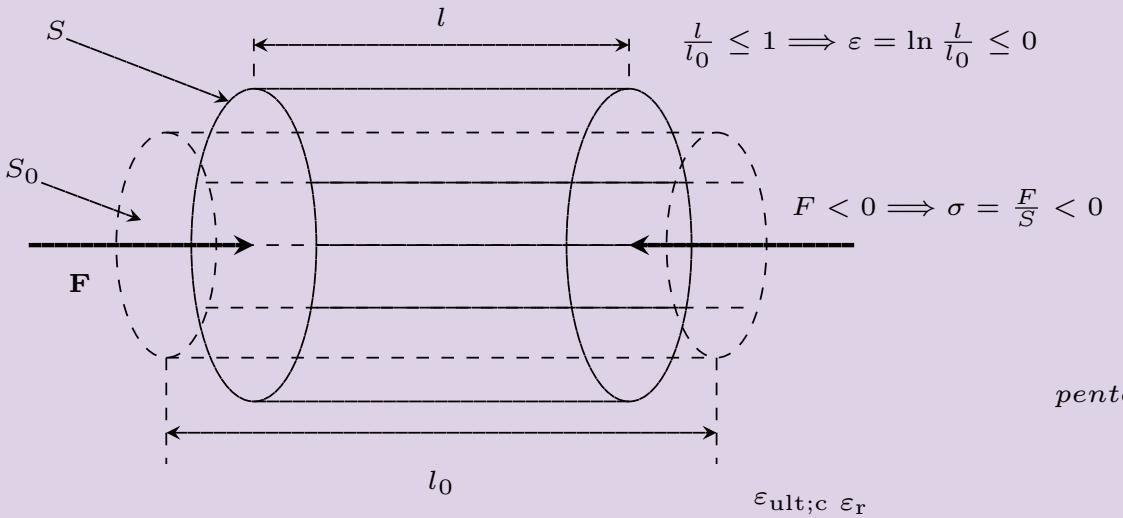
$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$ *et* $K_c = K$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



Le module d'écroussiage en compr. est lié au module d'Young : $K_c = E|\varepsilon_{e;c}|^{1-n}$ donc $K_c = K$ si $\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$

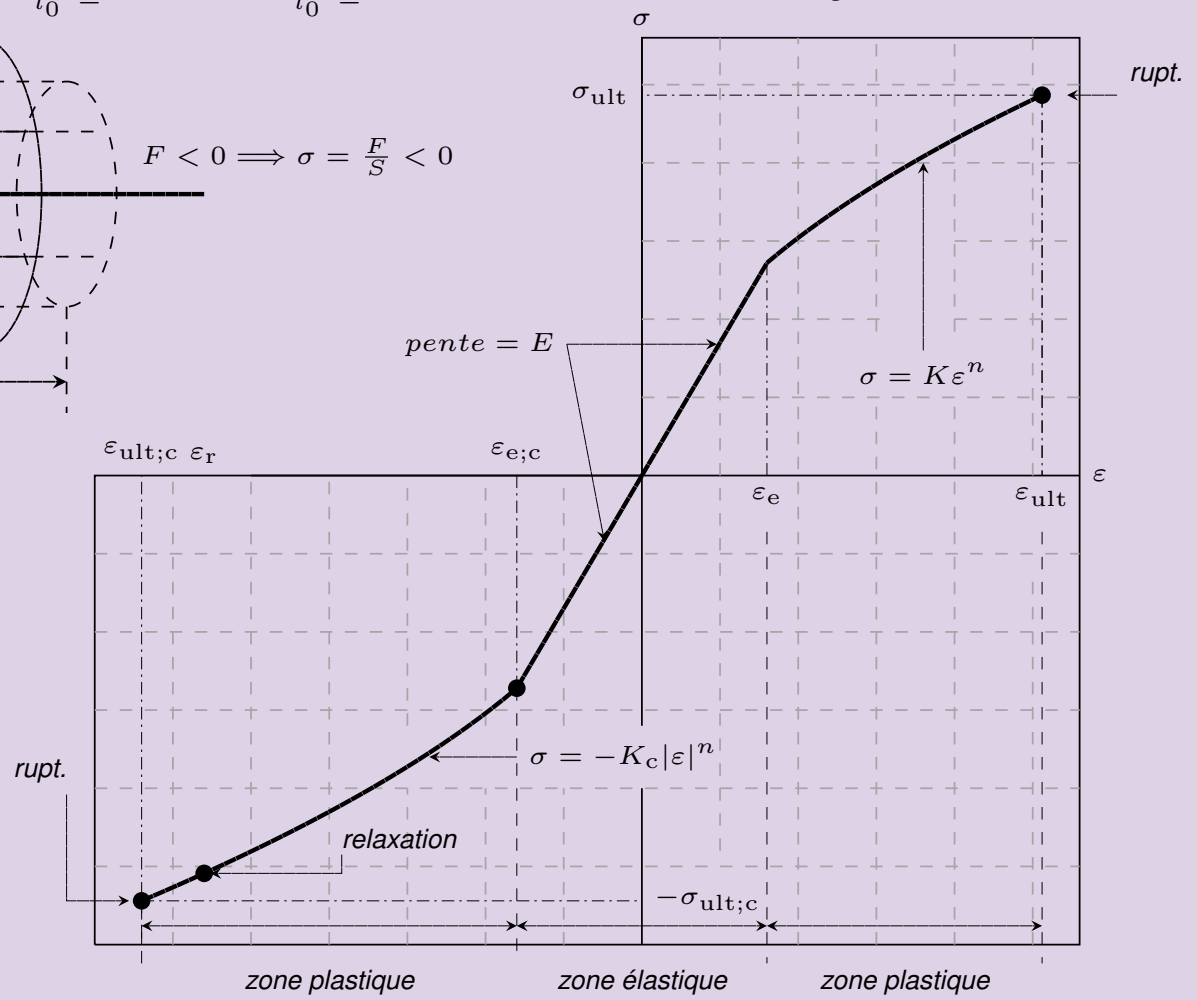
2.10.1 L'expérience de compression



En général :

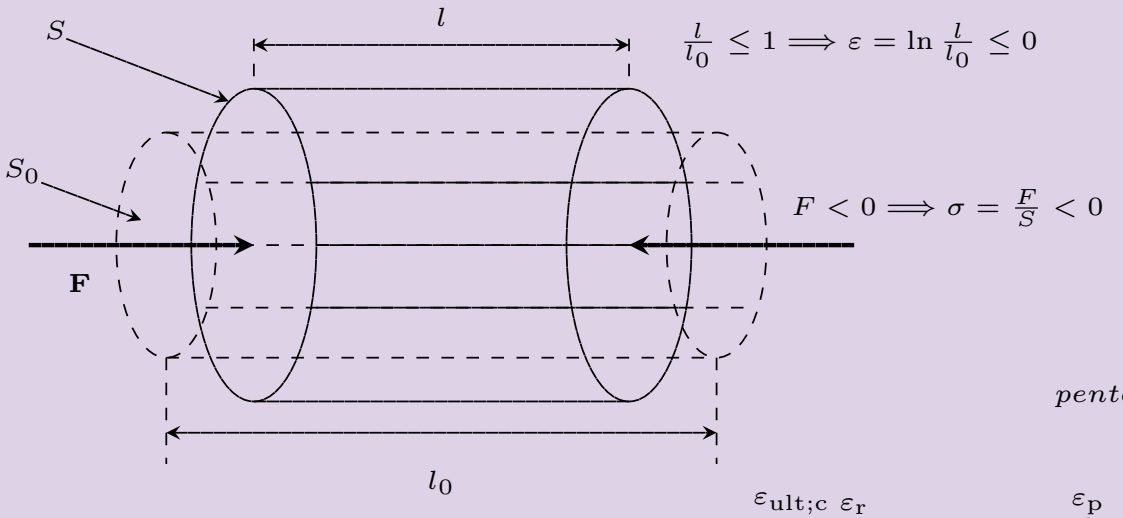
$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$ *et* $K_c = K$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



Le comportement en relaxation est le même. L'équation de la déf.perm. est encore valable.

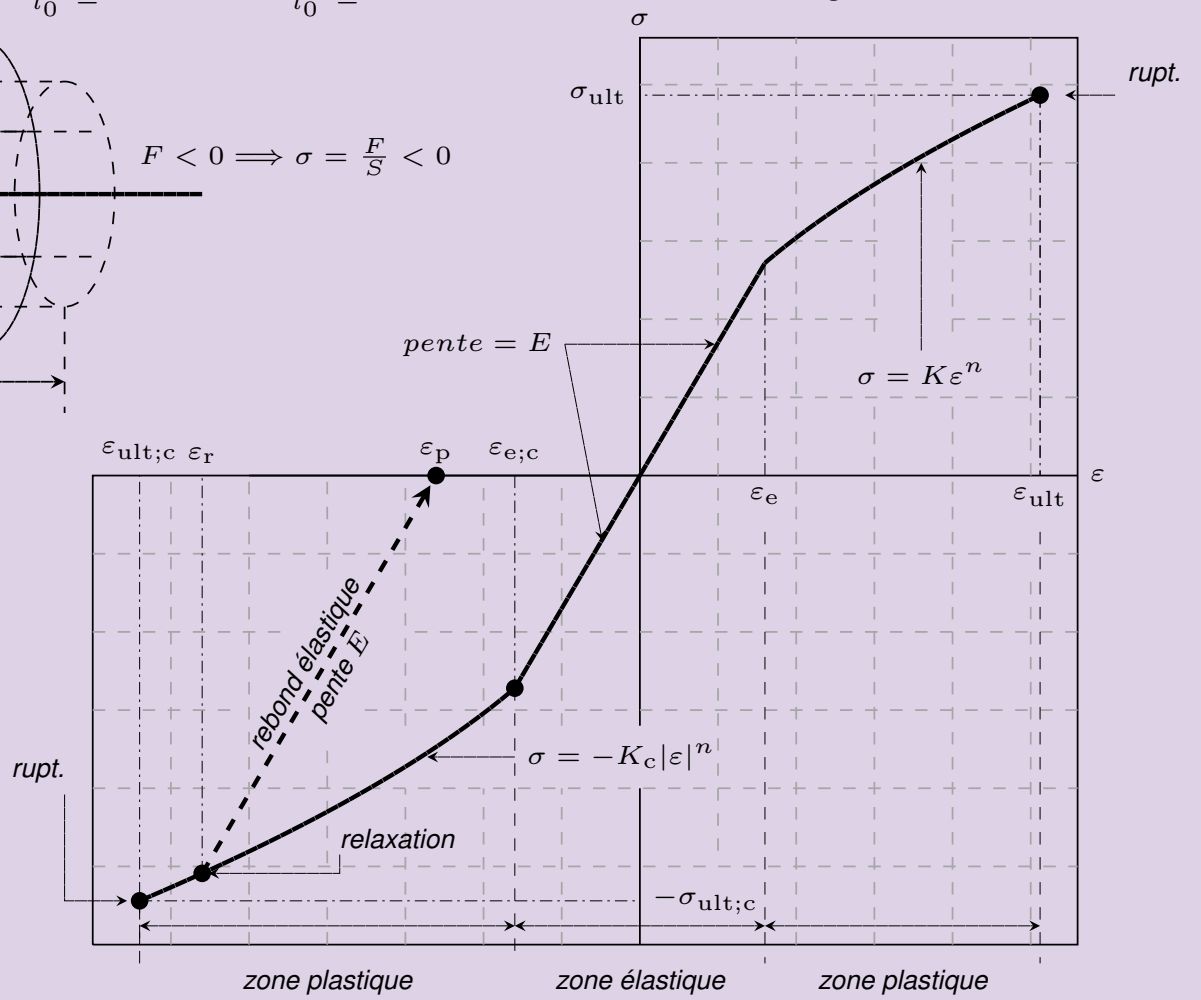
2.10.1 L'expérience de compression



En général :

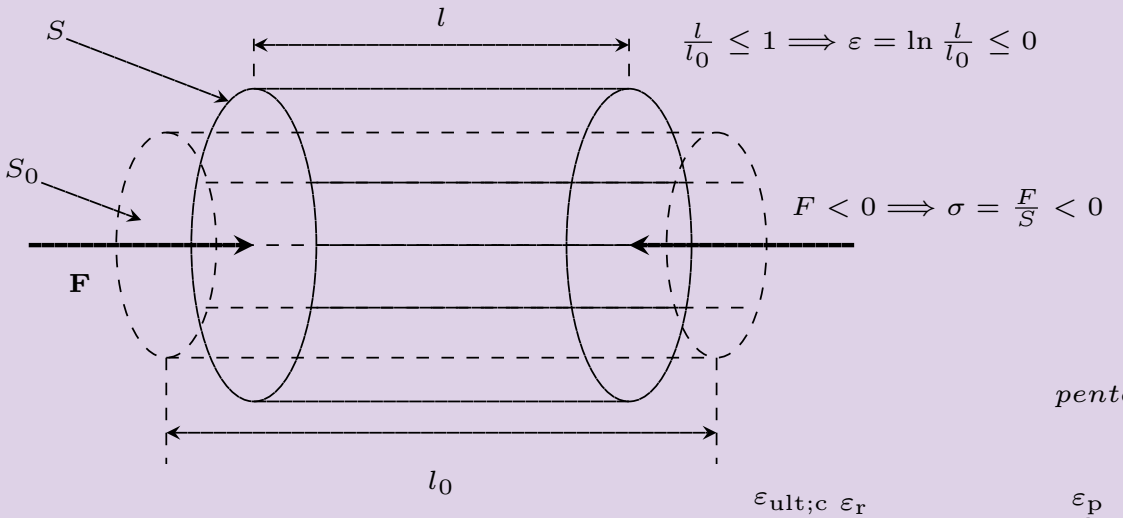
$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$ *et* $K_c = K$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



Le comportement en relaxation est le même. L'équation de la déf.perm. est encore valable.

2.10.1 L'expérience de compression



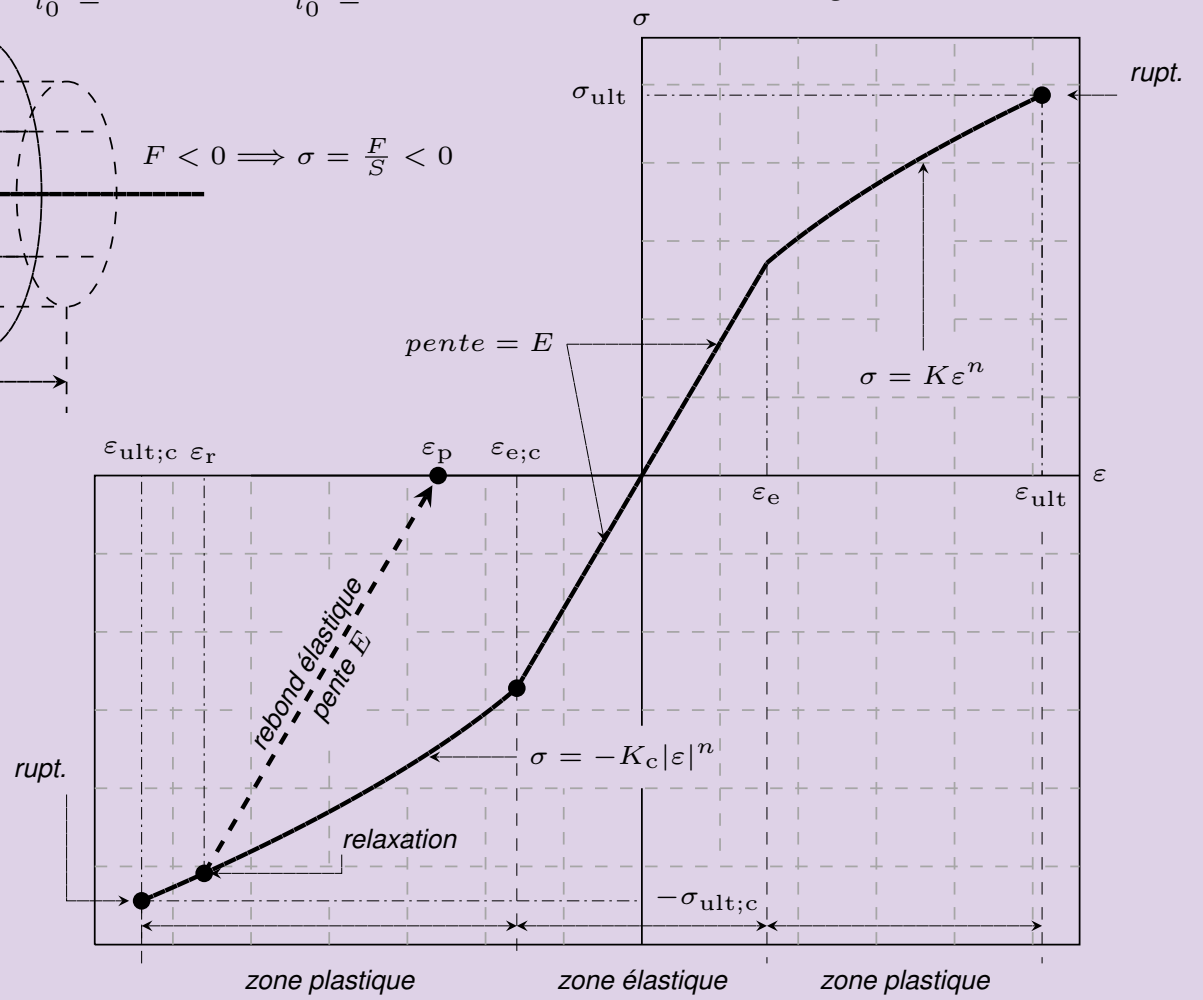
En général :

$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e$ *et* $K_c = K$

Déf. permanente :

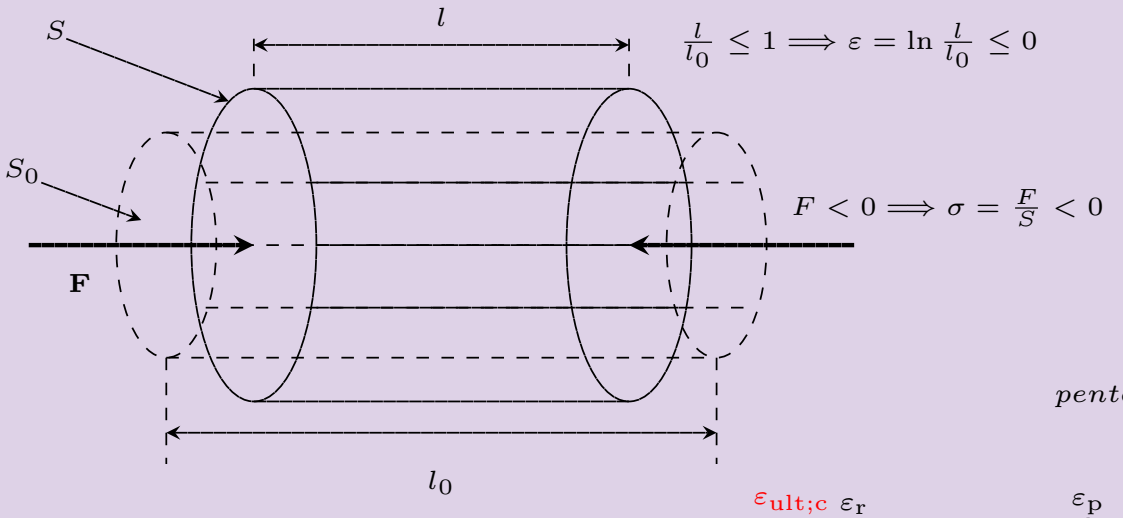
$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{e;c}} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}} - \left(\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}}\right)^n$$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



Le comportement en relaxation est le même. L'équation de la déf.perm. est encore valable.

2.10.1 L'expérience de compression



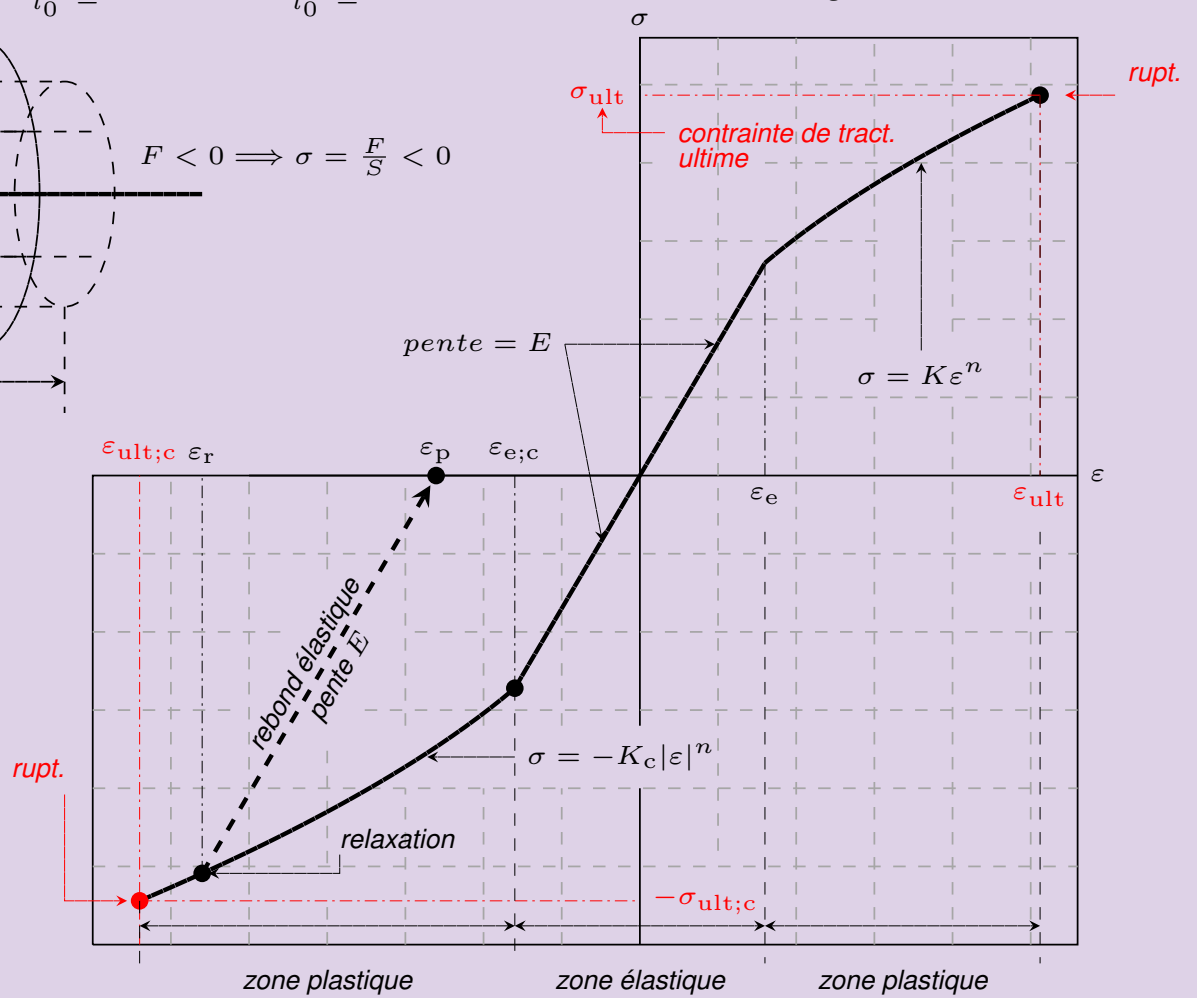
En général :

$$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e \text{ et } K_c = K$$

Déf. permanente :

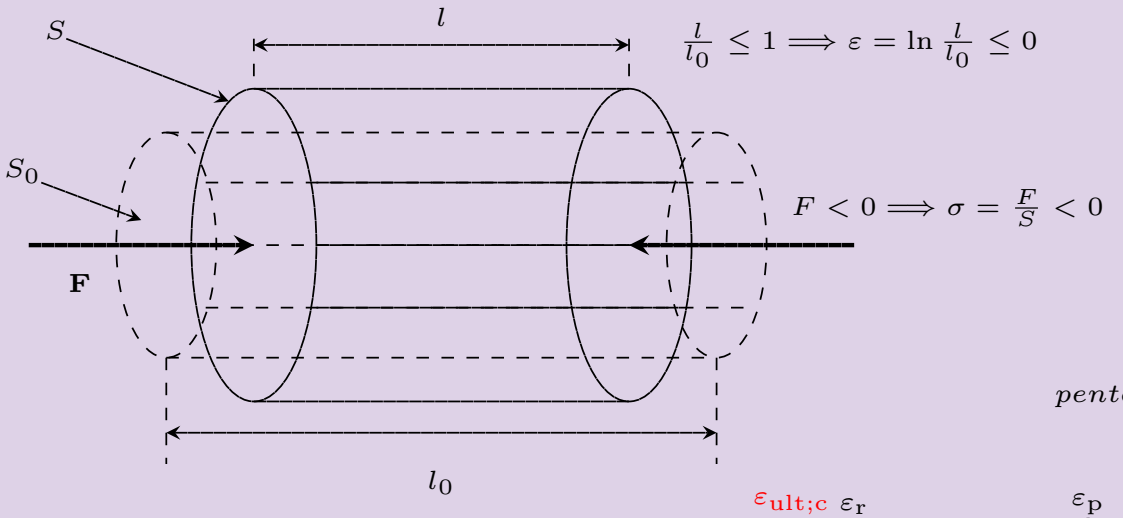
$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{e;c}} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}} - \left(\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}}\right)^n$$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



La localisation des points de ruptures (contraintes et déformation ultimes) est par contre très disymétrique.

2.10.1 L'expérience de compression



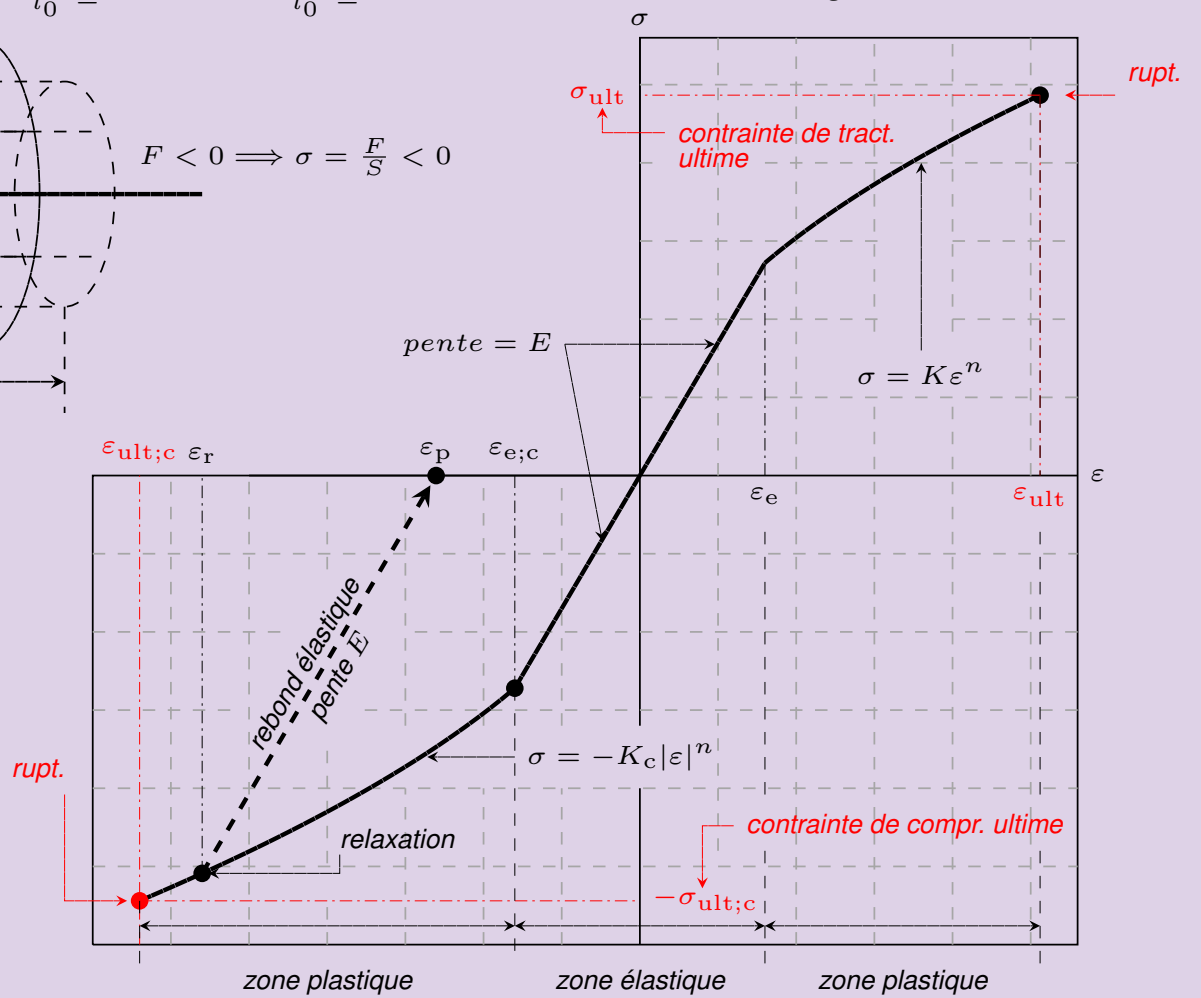
En général :

$$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e \text{ et } K_c = K$$

Déf. permanente :

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{e;c}} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}} - \left(\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}}\right)^n$$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



La localisation des points de ruptures (contraintes et déformation ultimes) est par contre très disymétrique.

2.10.1 L'expérience de compression

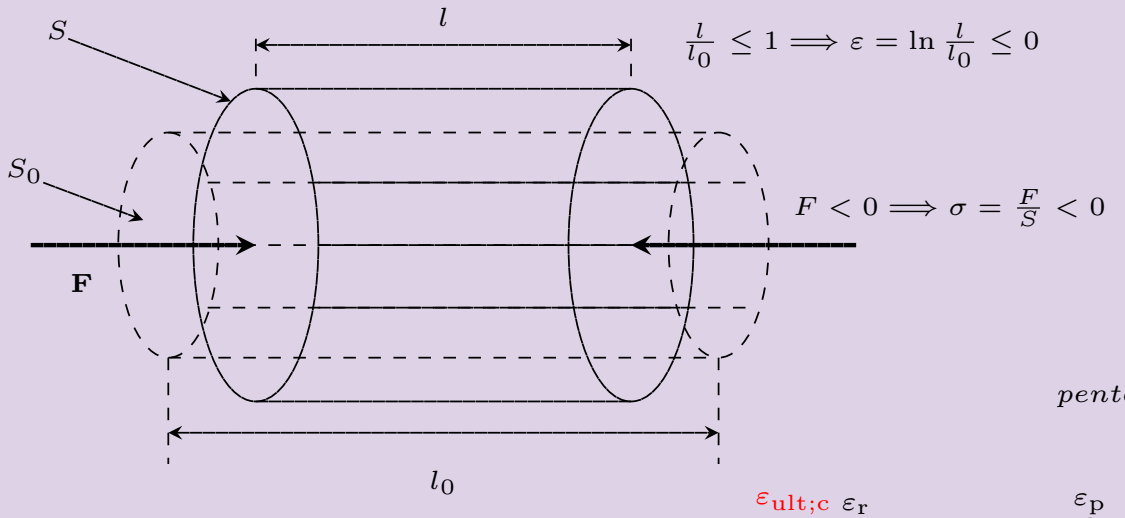
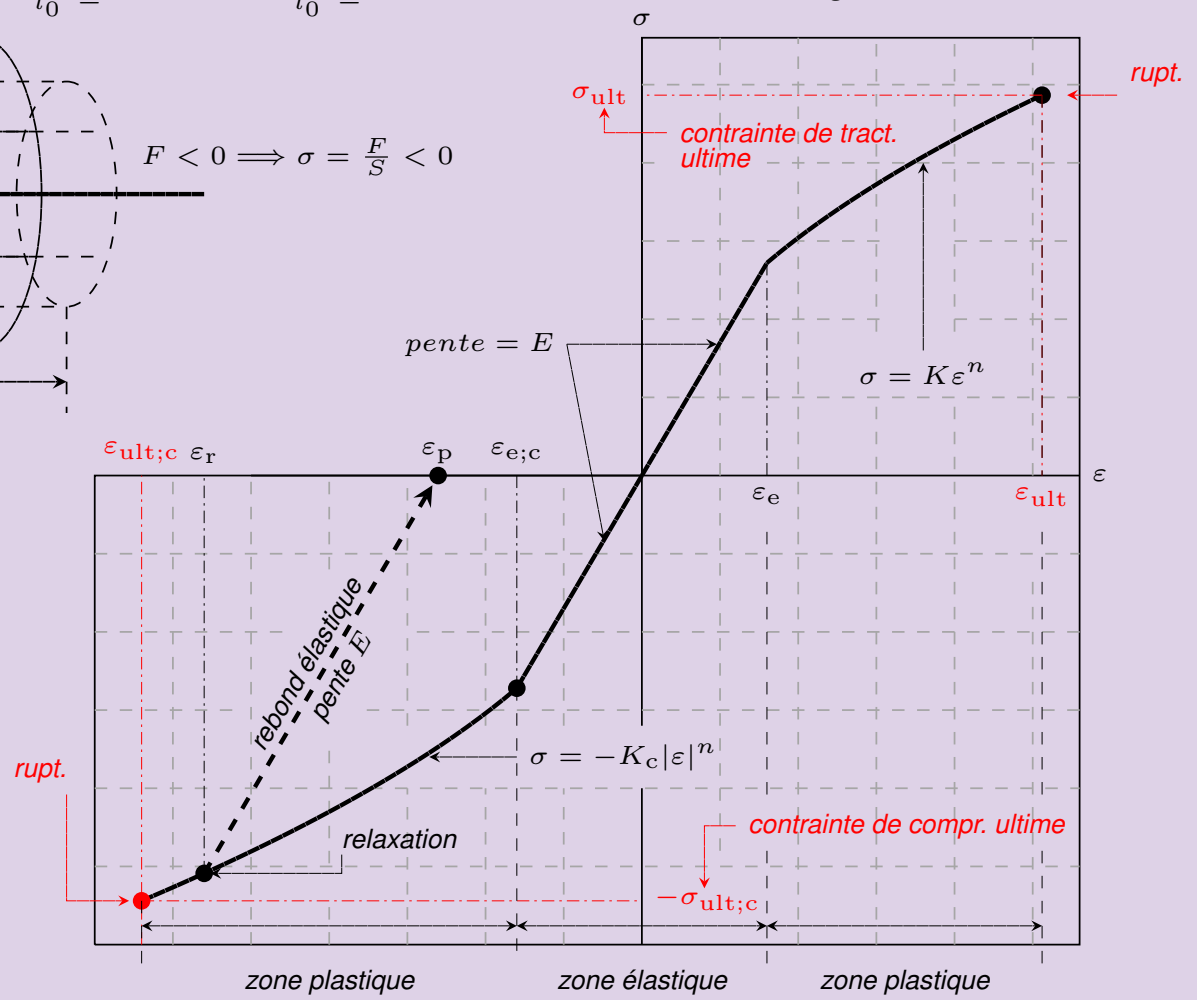


Fig.11 *Courbe de traction réelle*



En général :

$$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e \text{ et } K_c = K$$

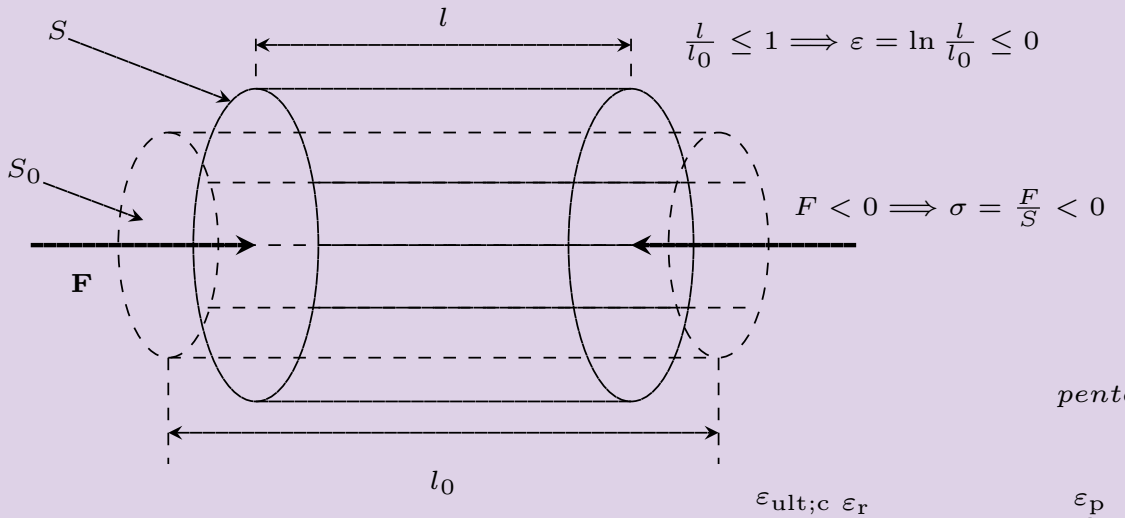
$\sigma_{ult;c} > \sigma_{ult}$ *et* $\varepsilon_{ult;c} < -\varepsilon_{ult}$

Déf. permanente :

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{e;c}} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}} - \left(\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}}\right)^n$$

La localisation des points de ruptures (contraintes et déformation ultimes) est par contre très disymétrique.

2.10.1 L'expérience de compression



En général :

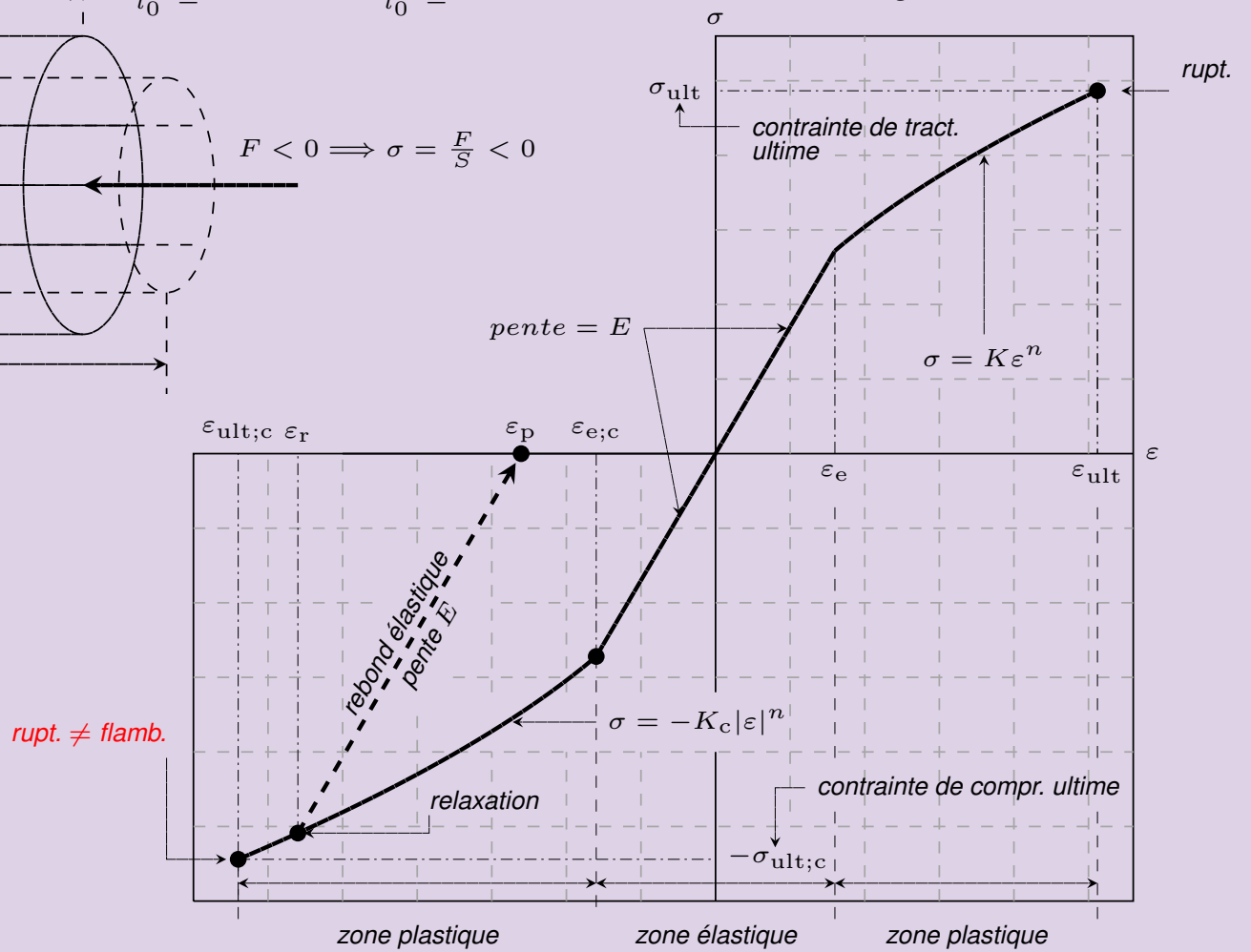
$$\varepsilon_{e;c} = -\varepsilon_e \text{ et } K_c = K$$

$$\sigma_{ult;c} > \sigma_{ult} \text{ et } \varepsilon_{ult;c} < -\varepsilon_{ult}$$

Déf. permanente :

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{e;c}} = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}} - \left(\frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_{e;c}}\right)^n$$

Fig.11 *Courbe de traction réelle*



Ne confondez pas rupture et flambage !

2.10.2 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 ν que pour la traction.*

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ (***élasticité***)	$\varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ (***plasticité***)
$\frac{r}{r_0}$	$\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}-\frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}-\varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}}$

- *Il faut noter que les taux de déformations ε et $\varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ sont **négatifs**.*
- *Les formules ci-dessus prévoient donc des **augmentations** de rayon et de section (des diminutions de volume) après rebond.*
- *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 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 ν que pour la traction.*

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ (***élasticité***)	$\varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ (***plasticité***)
$\frac{r}{r_0}$	$\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}-\frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}-\varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}}$

- *Il faut noter que les taux de déformations ε et $\varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ 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 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 ν que pour la traction.*

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ (***élasticité***)	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ (***plasticité***)
$\frac{r}{r_0}$	$\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c}-\frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}-\varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- *Il faut noter que les taux de déformations ε 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 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 ν que pour la traction.*

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ (***élasticité***)	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ (***plasticité***)
$\frac{r}{r_0}$	$\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c}-\frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}-\varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- *Il faut noter que les taux de déformations ε 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 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 ν que pour la traction.*

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ (***élasticité***)	$\varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ (***plasticité***)
$\frac{r}{r_0}$	$\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}-\frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}-\varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}}$

- *Il faut noter que les taux de déformations ε et $\varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ 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 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 ν que pour la traction.*

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ (***élasticité***)	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ (***plasticité***)
$\frac{r}{r_0}$	$\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c}-\frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}-\varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- *Il faut noter que les taux de déformations ε 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 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 ν que pour la traction.*

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ (***élasticité***)	$\varepsilon > \varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ (***plasticité***)
$\frac{r}{r_0}$	$\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}-\frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}-\varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e;c}}}$

- *Il faut noter que les taux de déformations ε et $\varepsilon_{\mathrm{e;c}}$ 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 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 ν que pour la traction.*

Situation	$\varepsilon \leq \varepsilon_{e;c}$ (***élasticité***)	$\varepsilon > \varepsilon_{e;c}$ (***plasticité***)
$\frac{r}{r_0}$	$\mathbf{e}^{-\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(\frac{1}{2}-\nu)\varepsilon_{e;c}-\frac{1}{2}\varepsilon}$
$\frac{S}{S_0}$	$\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}-\varepsilon}$
$\frac{V}{V_0}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon}$	$\mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{e;c}}$

- *Il faut noter que les taux de déformations ε 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 : écrouissage, ténacité et dureté

ANNEXES, TABLES ET BIBLIOGRAPHIE

Terminologie anglaise

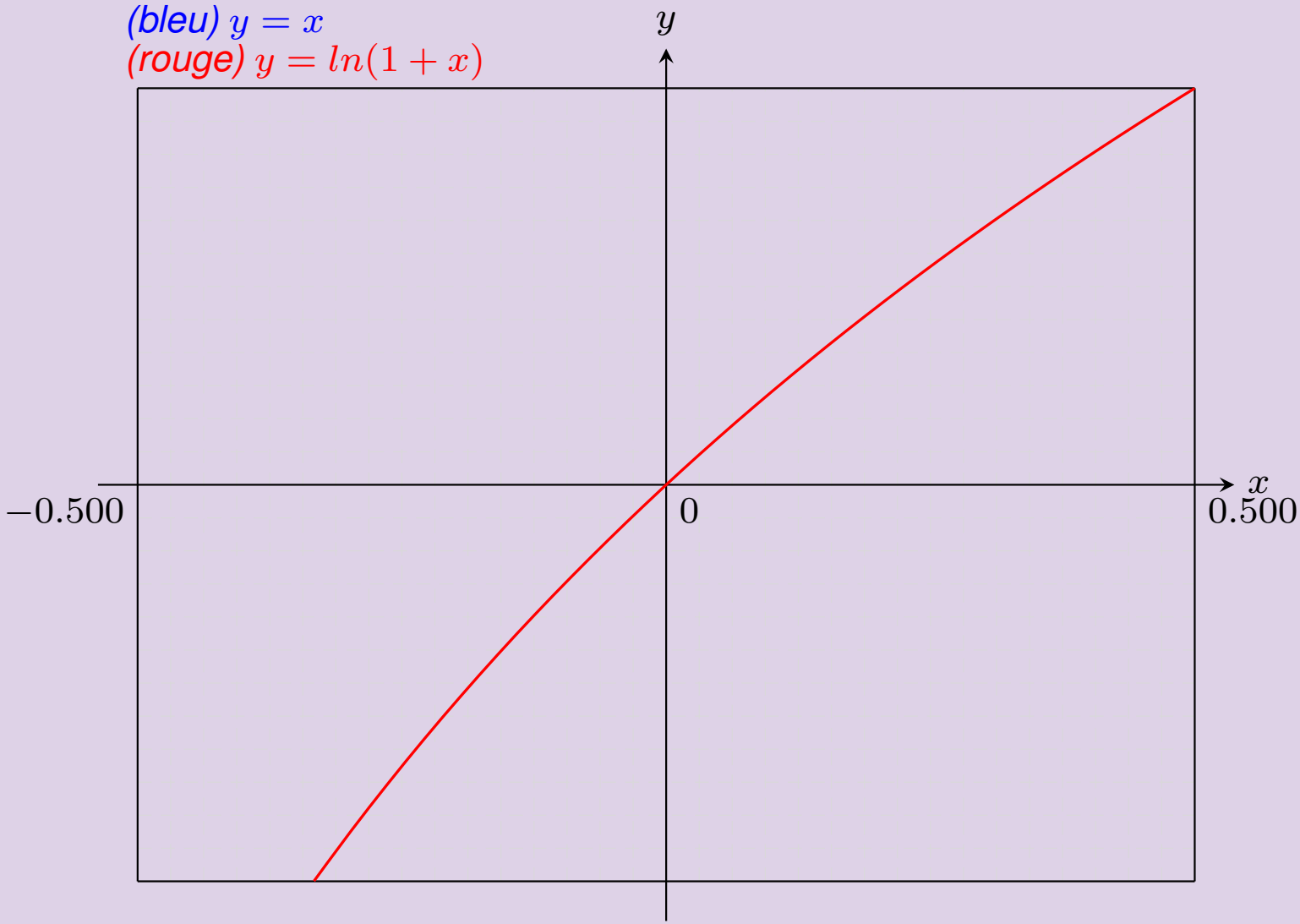
Français	***Anglais***
Taux de déformation :	*Real strain*
Taux de déformation nominal :	*Engineering strain*
Contrainte (réel, nominale) :	*(Real, engineering) stress*
Essai de traction :	*Tensile test*
Courbe de traction :	*Tensile curve*
Essai de compression :	*Compressive test*
Essai de cisaillement :	*Shear test*
Limite élastique :	*Yield (tensile) strength*
Résistance :	*Ultimate (tensile) strength*
Dureté :	*Hardness*
Ténacité :	*Tenacity*
Module d'elasticité :	*Elasticity modulus*
Module de cisaillement :	*Shear modulus*
Coefficient de Poisson :	*Poisson ratio*
Ecrouissage :	*(Work or strain) hardening*
Dislocation :	*Dislocation*

Terminologie anglaise

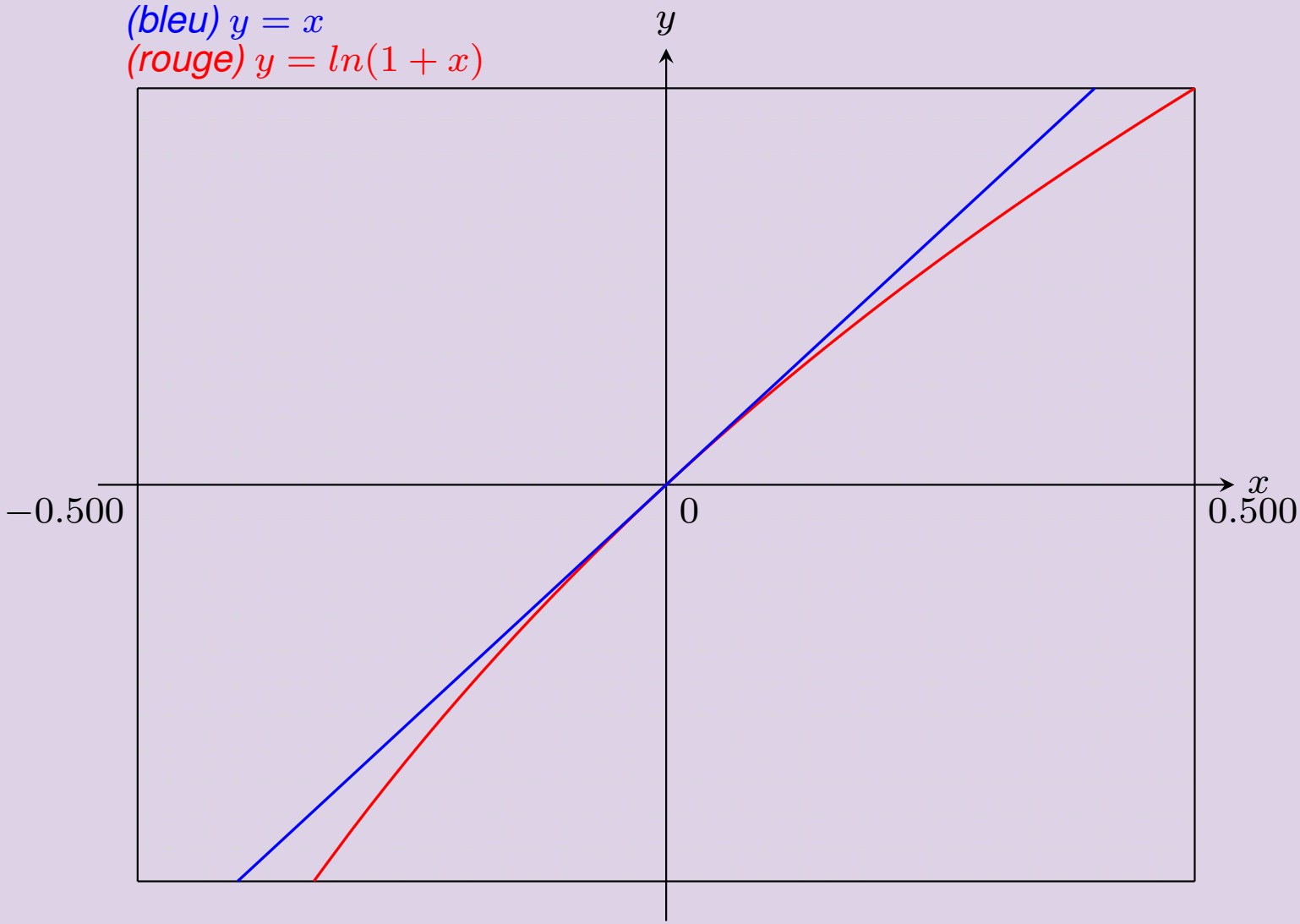
Français	*Anglais*
Taux de déformation :	*Real strain*
Taux de déformation nominal :	*Engineering strain*
Contrainte (réel, nominale) :	*(Real, engineering) stress*
Essai de traction :	*Tensile test*
Courbe de traction :	*Tensile curve*
Essai de compression :	*Compressive test*
Essai de cisaillement :	*Shear test*
Limite élastique :	*Yield (tensile) strength*
Résistance :	*Ultimate (tensile) strength*
Dureté :	*Hardness*
Ténacité :	*Tenacity*
Module d'elasticité :	*Elasticity modulus*
Module de cisaillement :	*Shear modulus*
Coefficient de Poisson :	*Poisson ratio*
Ecrouissage :	*(Work or strain) hardening*
Dislocation :	*Dislocation*

retour

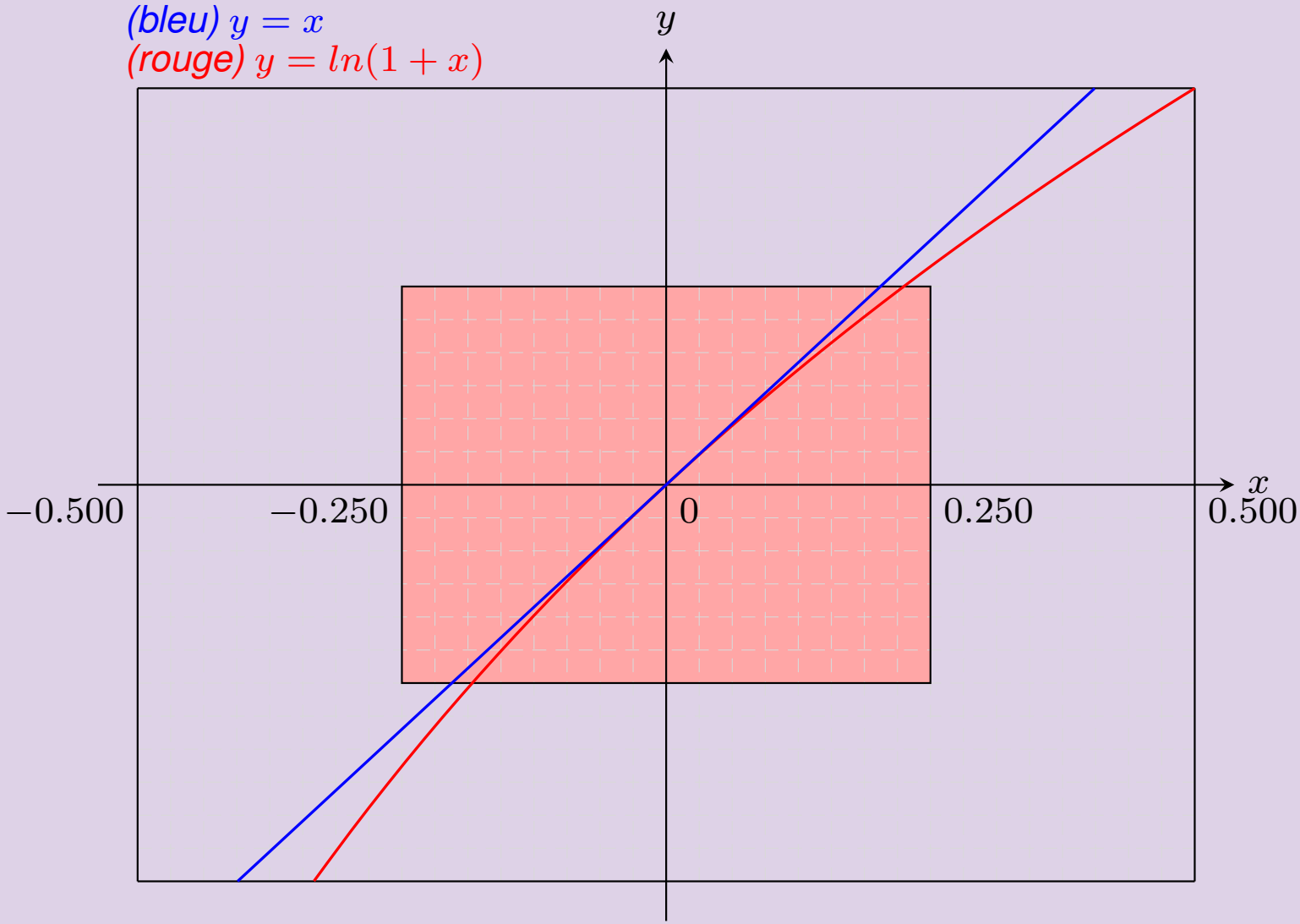
Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



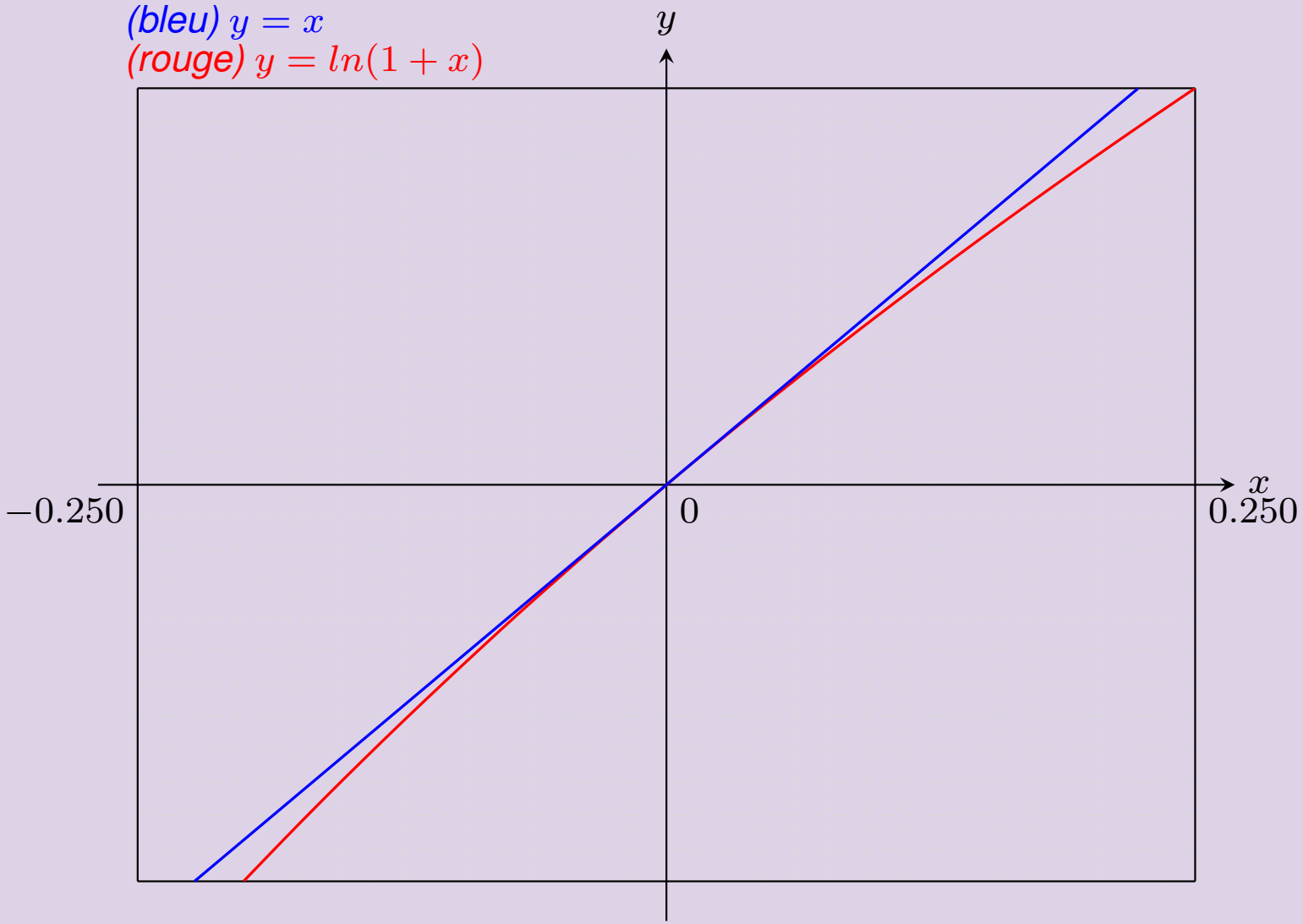
Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



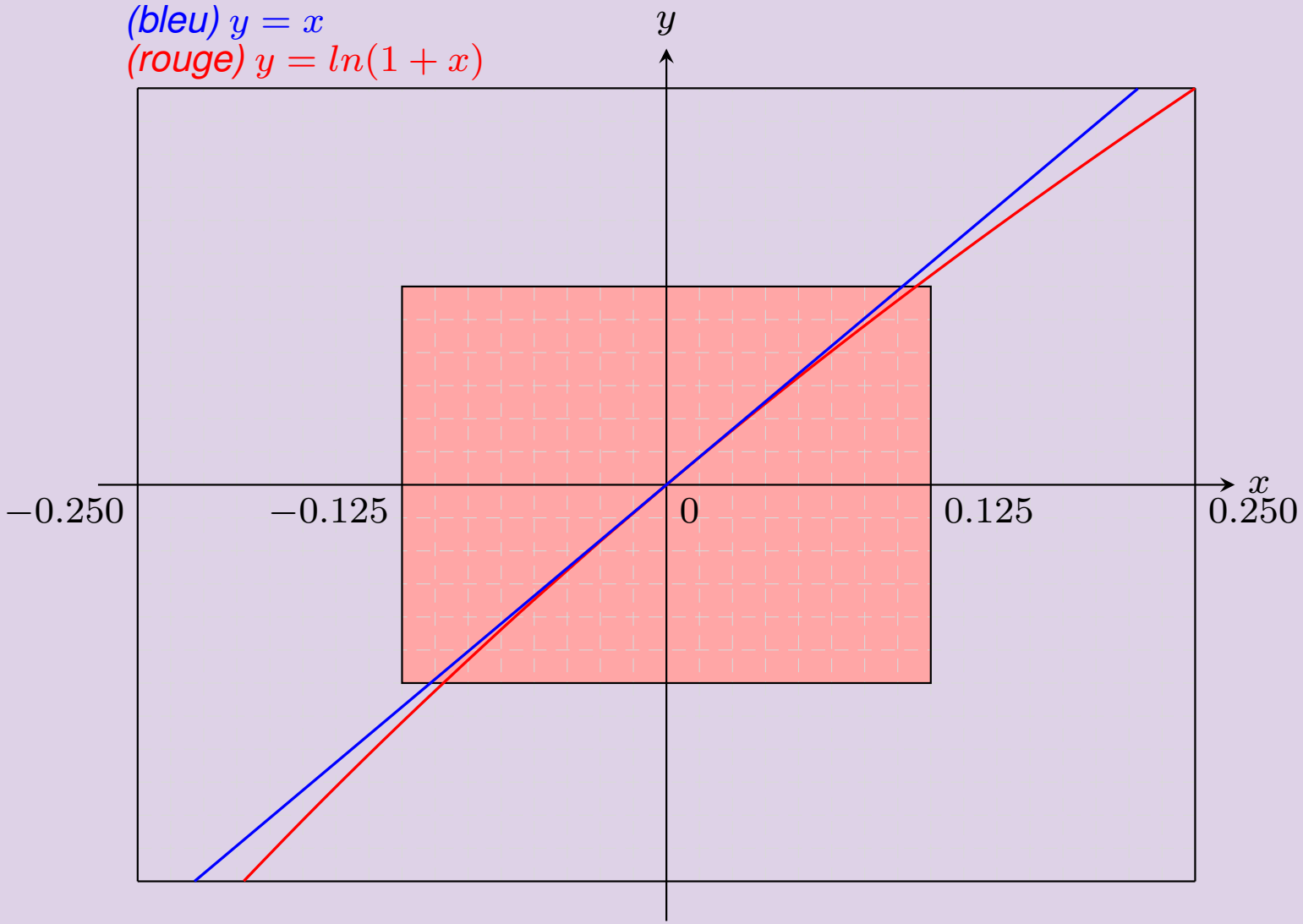
Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



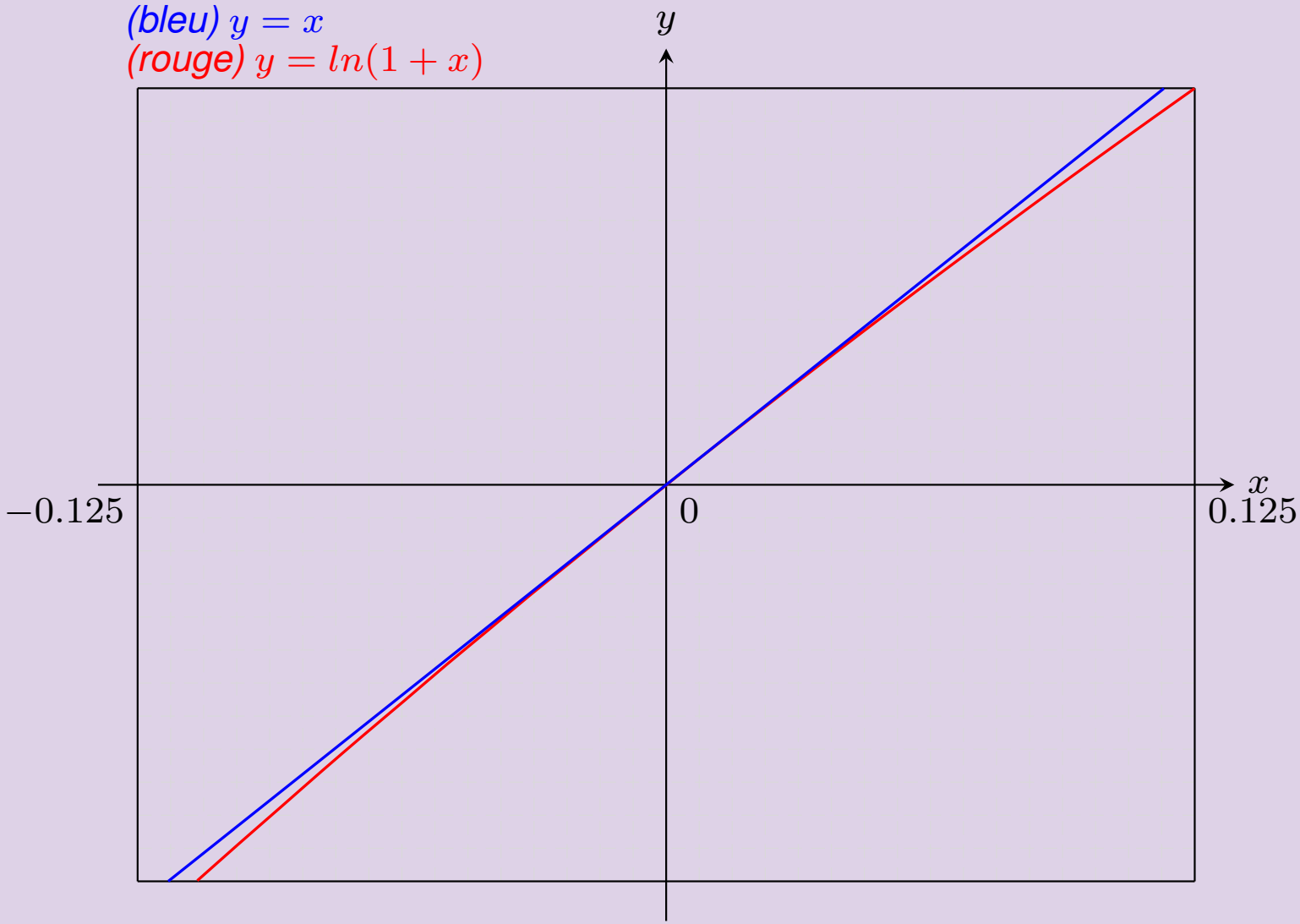
Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



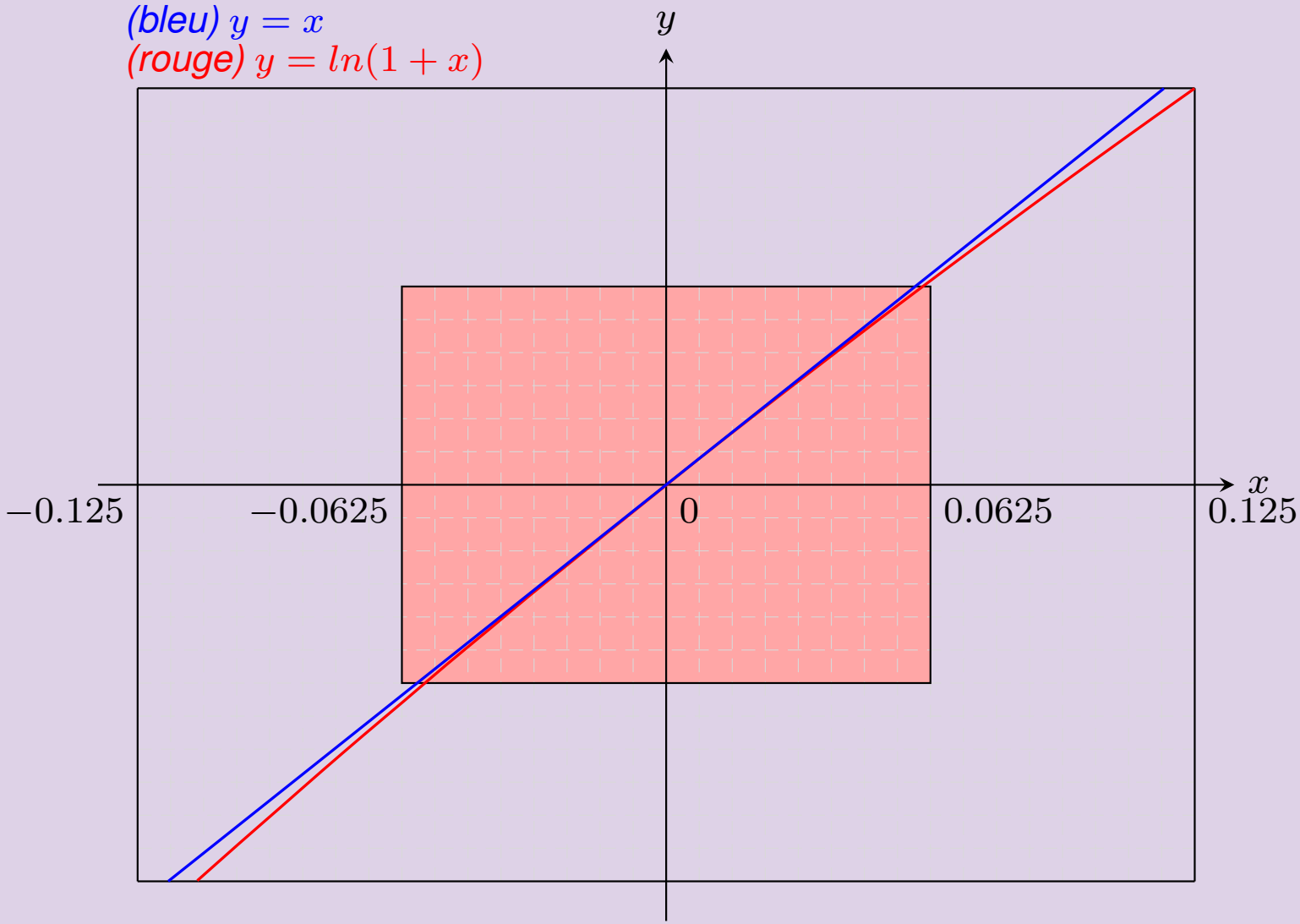
Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



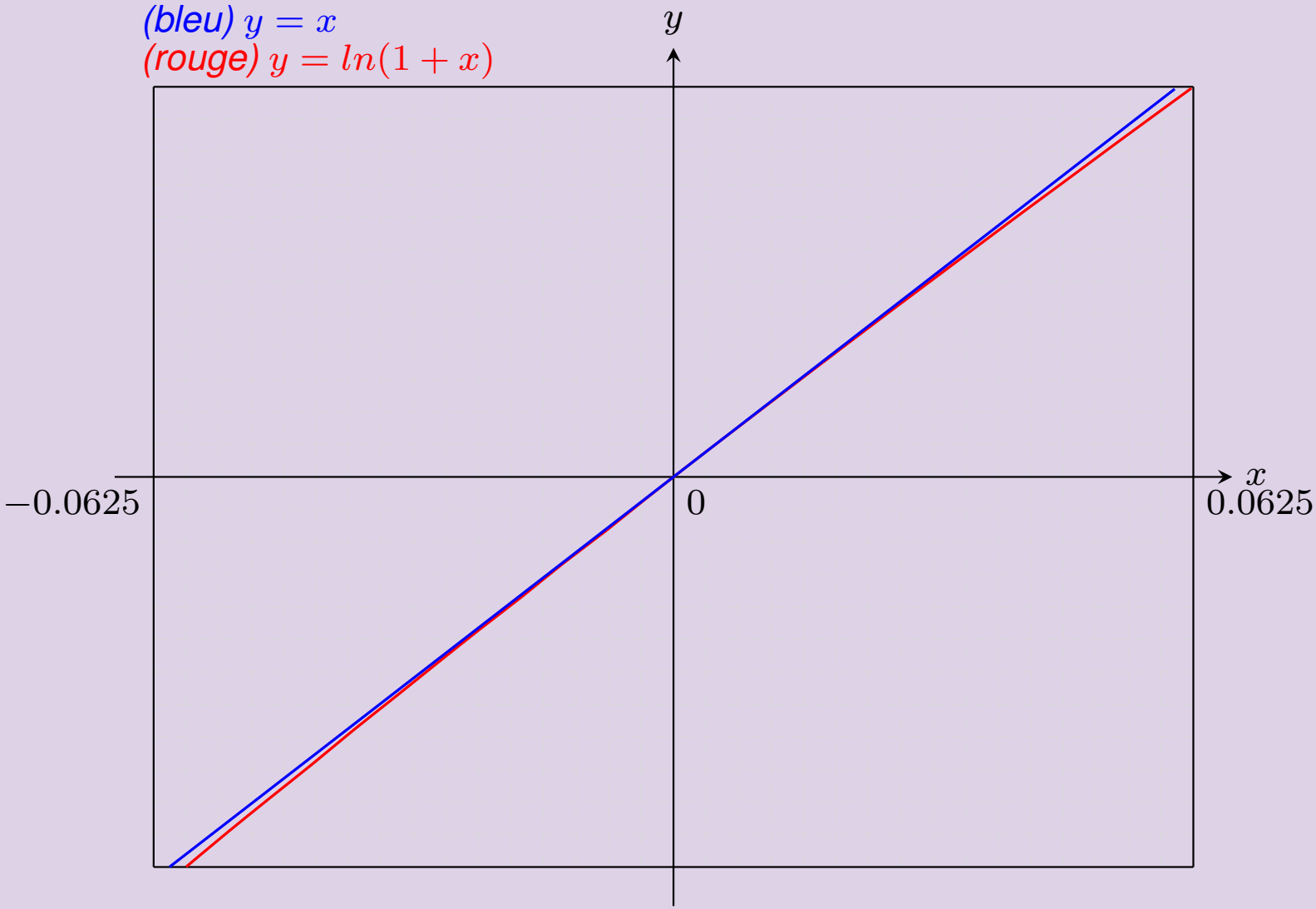
Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



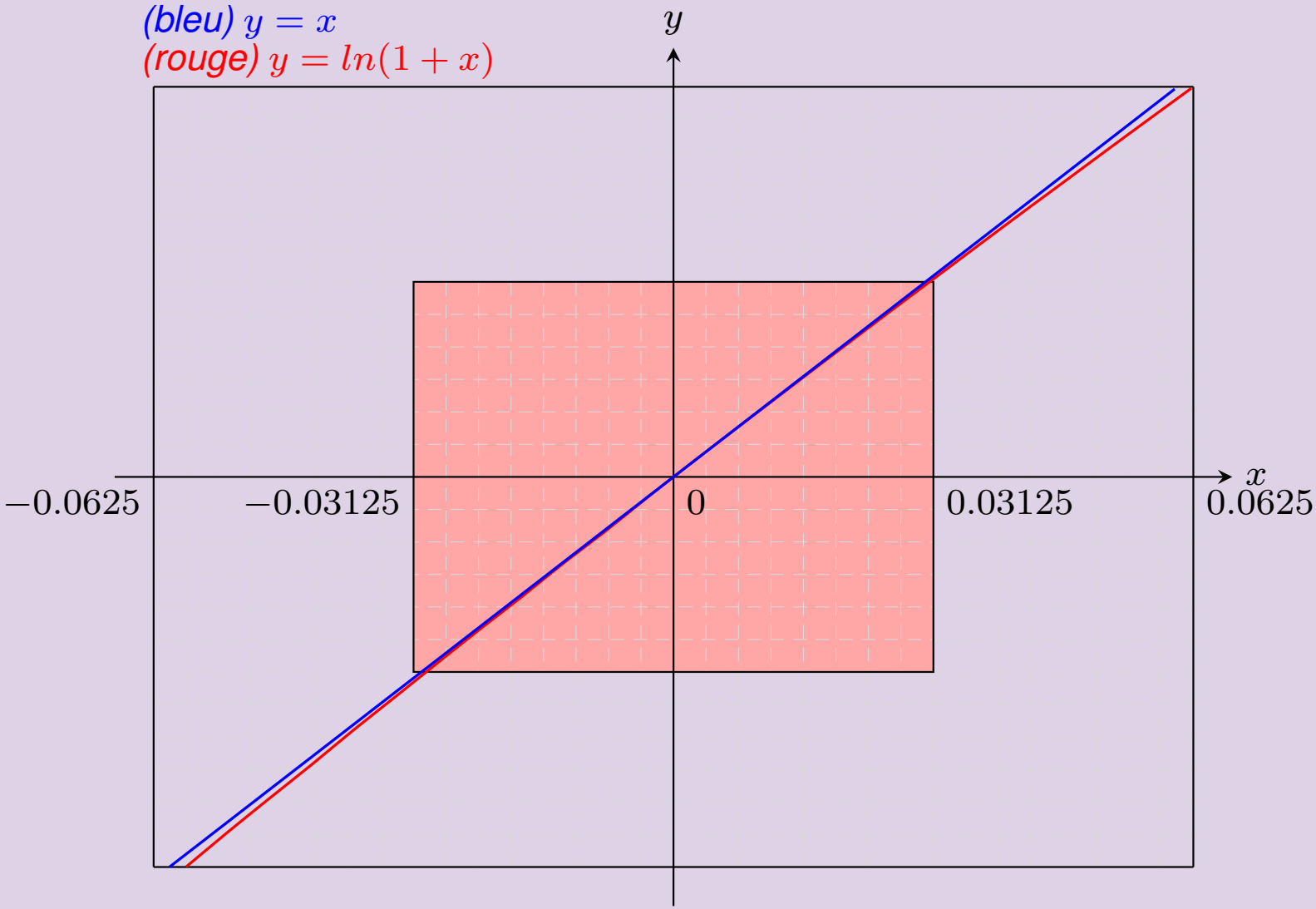
Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



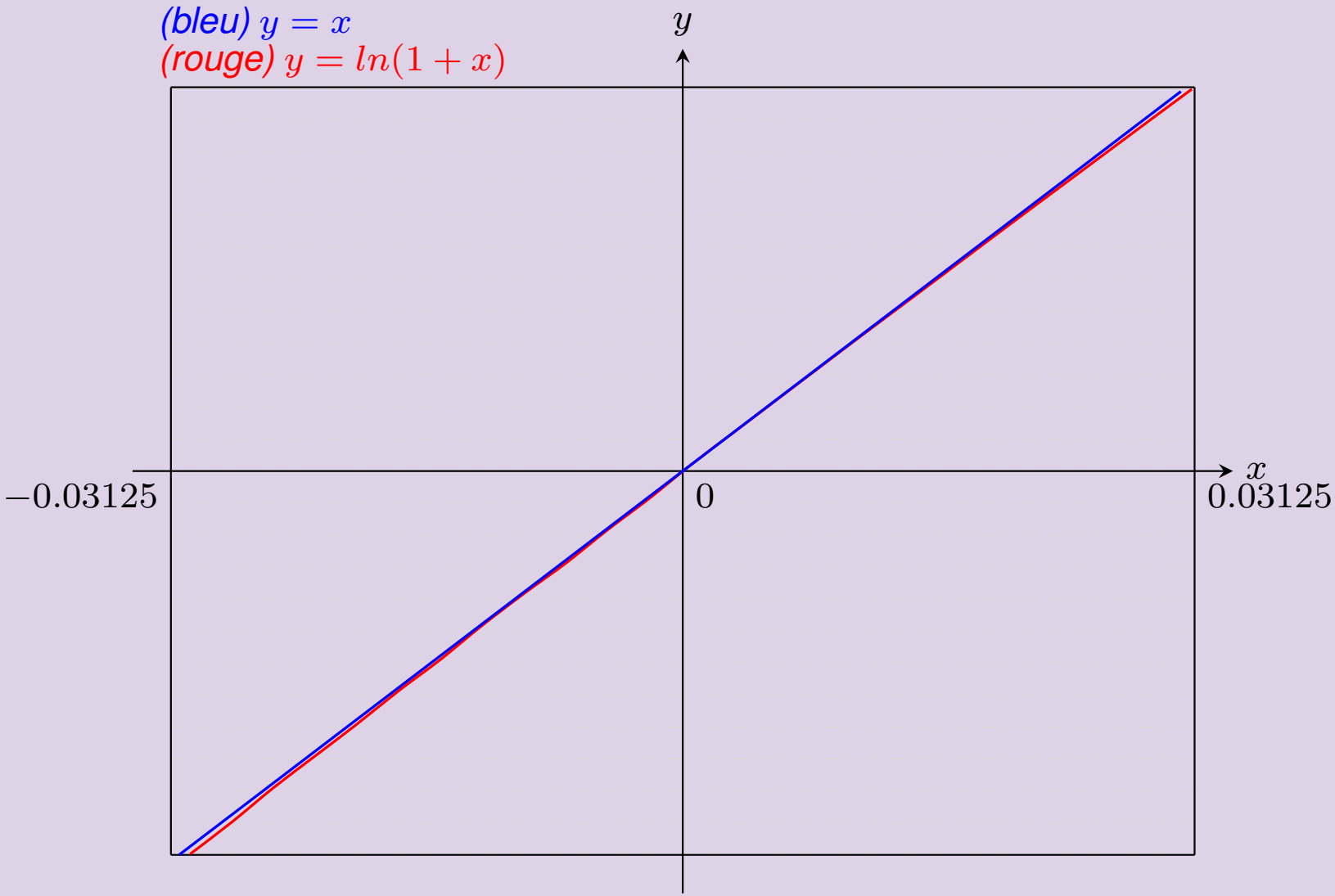
Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$

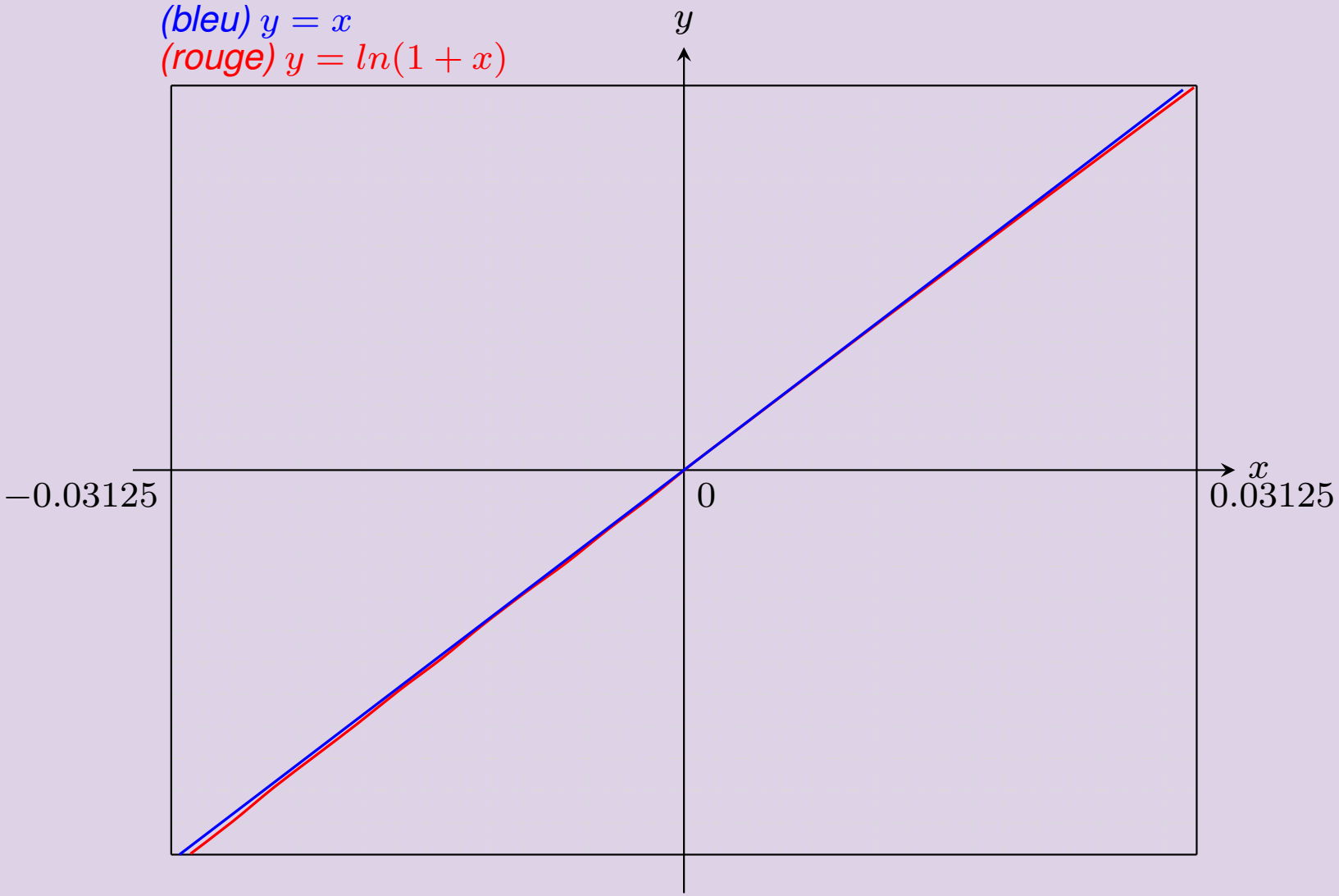


Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$

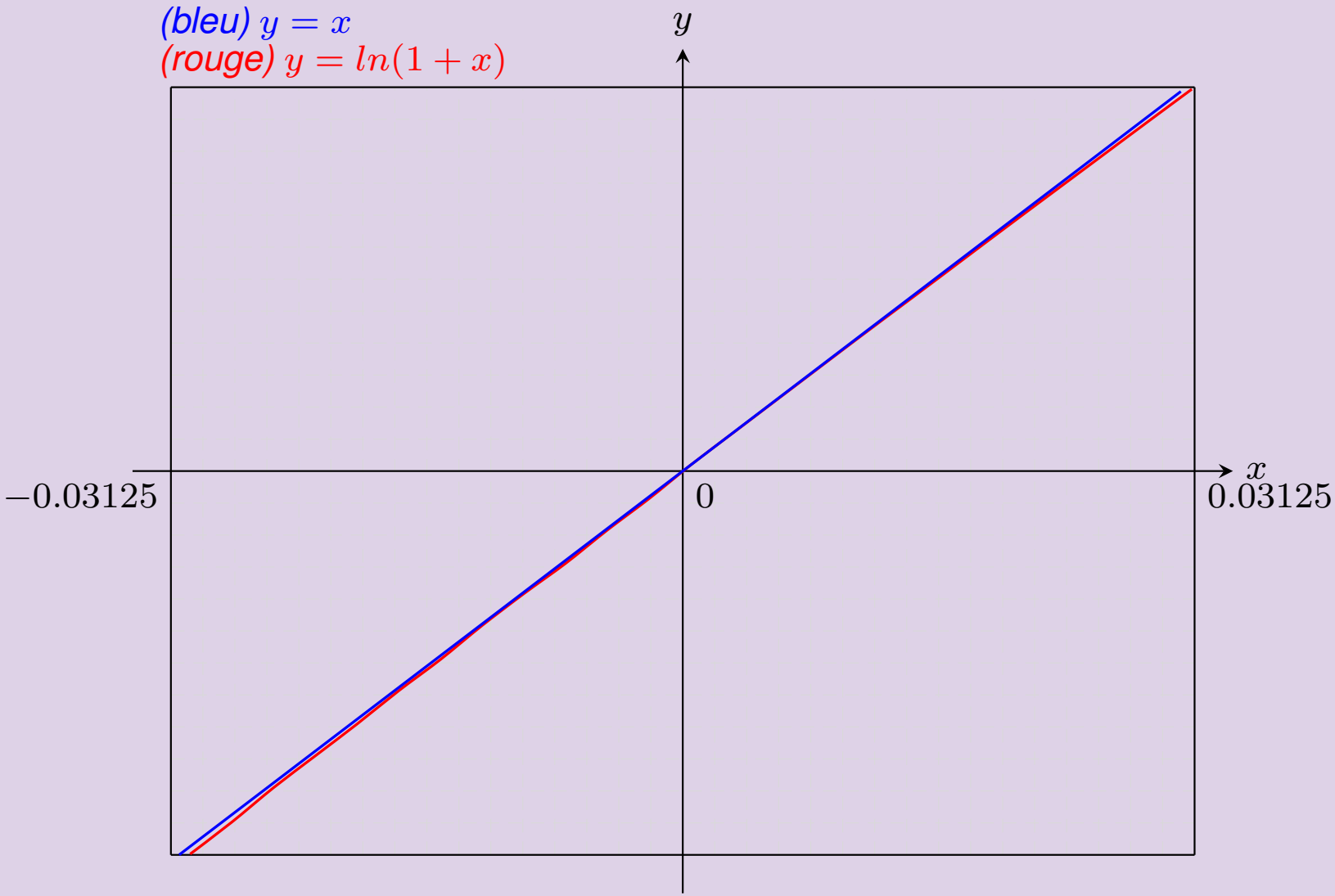


retour

Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



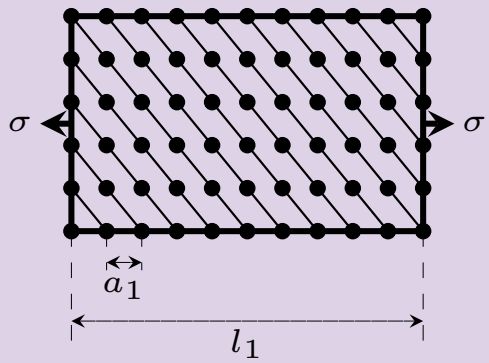
Comparaison entre $y = x$ et $y = \ln(1 + x)$



retour

Mobilisation des dislocations

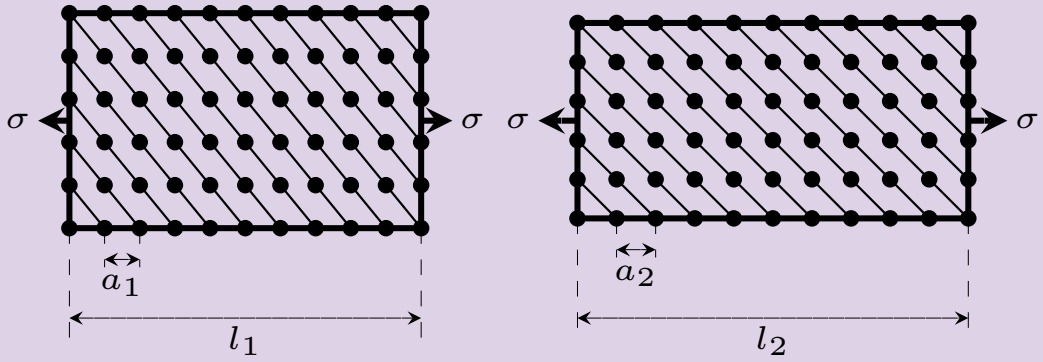
Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille



Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

Mobilisation des dislocations

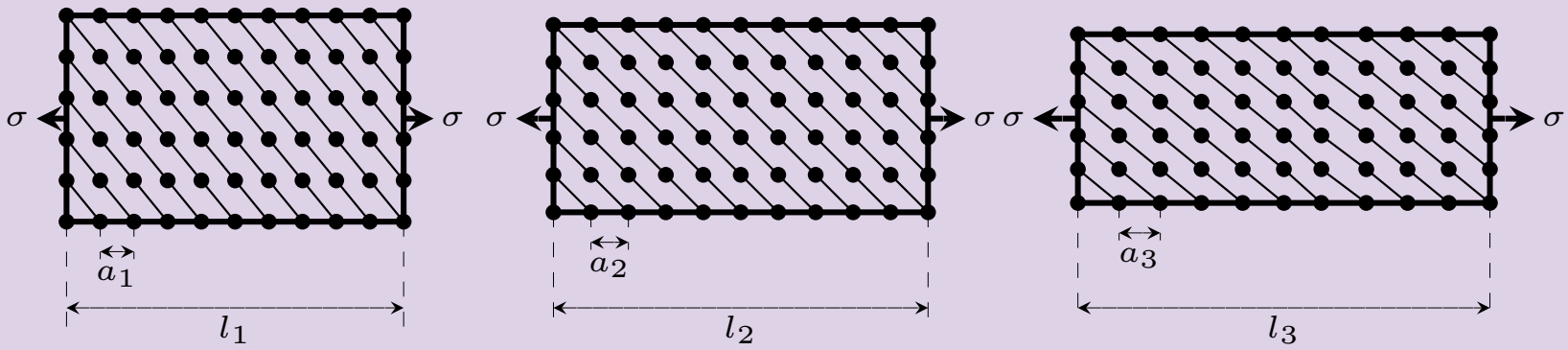
Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille



Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

Mobilisation des dislocations

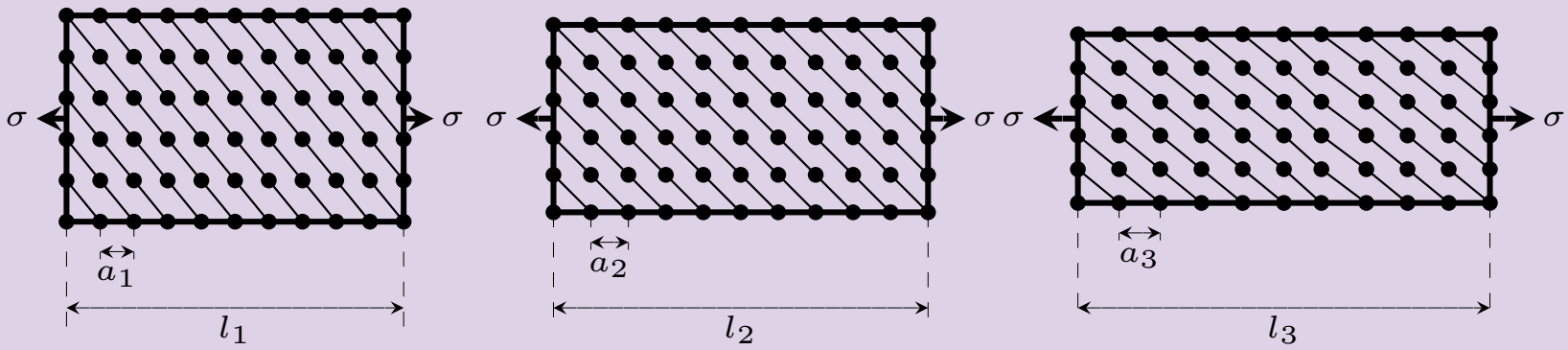
Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille



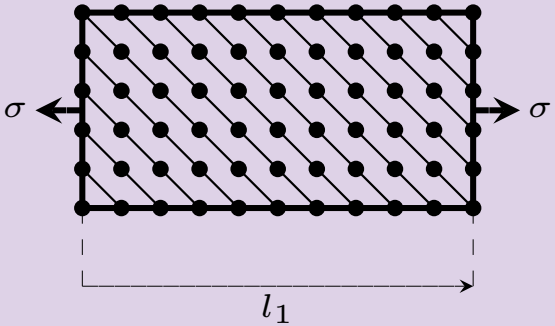
Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille

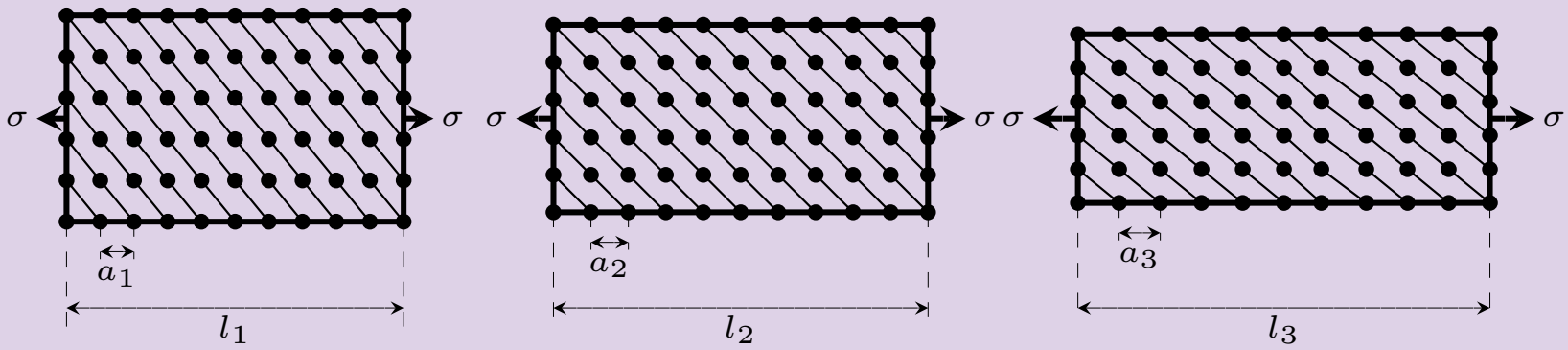


Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

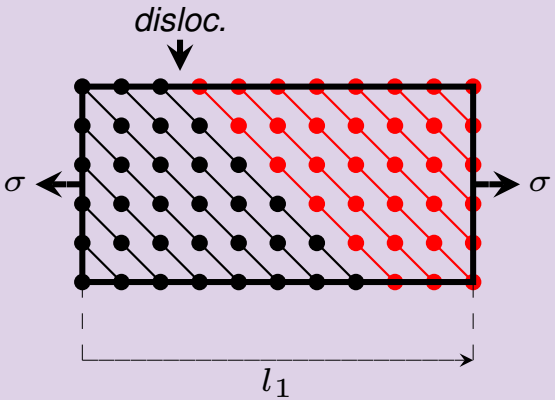


Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille

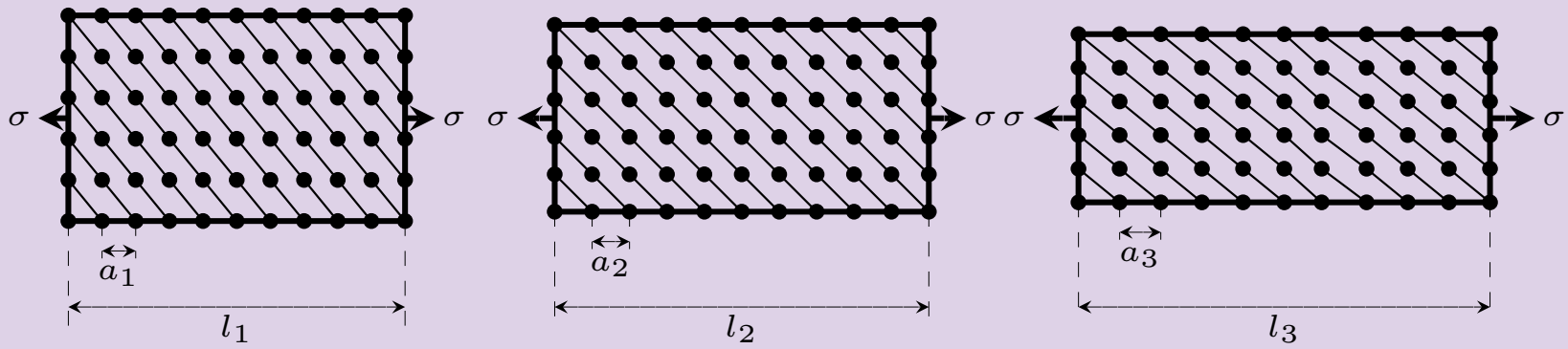


Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

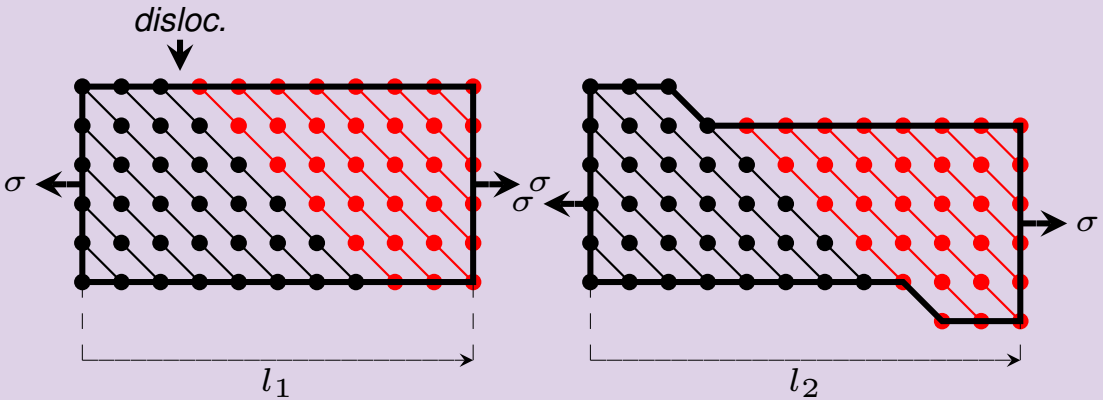


Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille

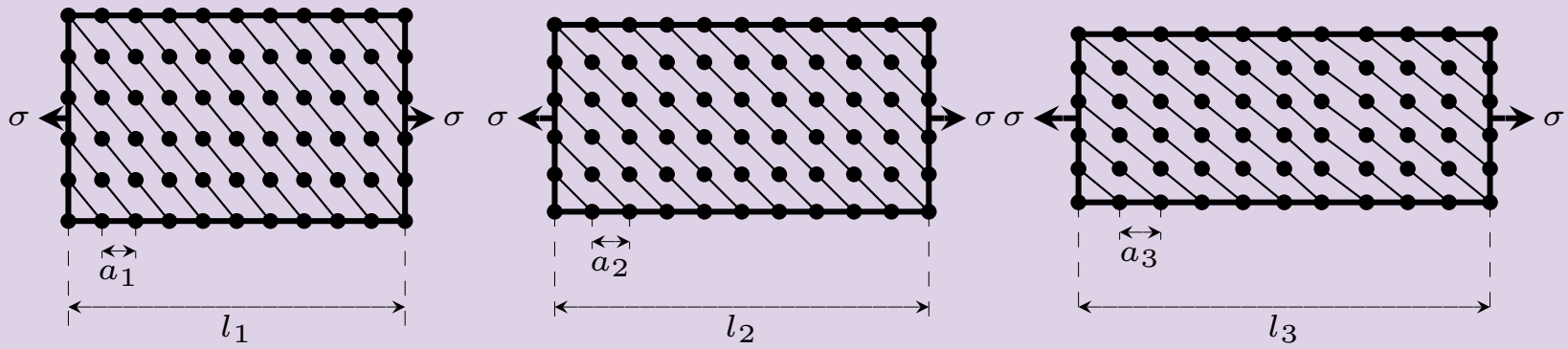


Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

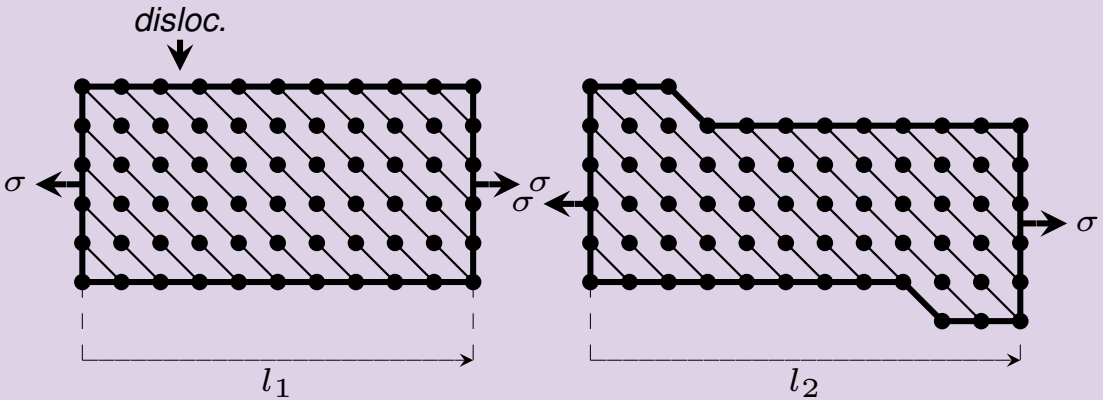


Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille

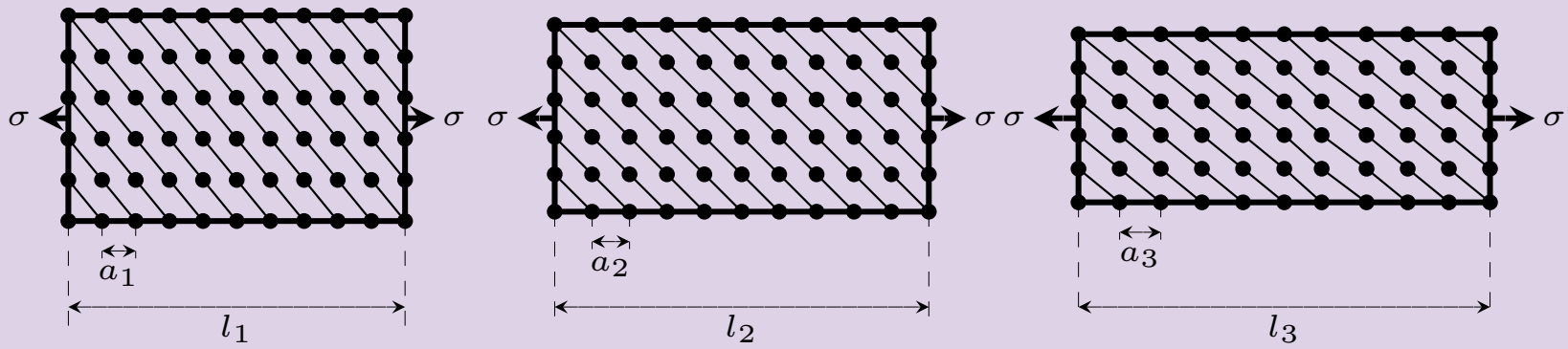


Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

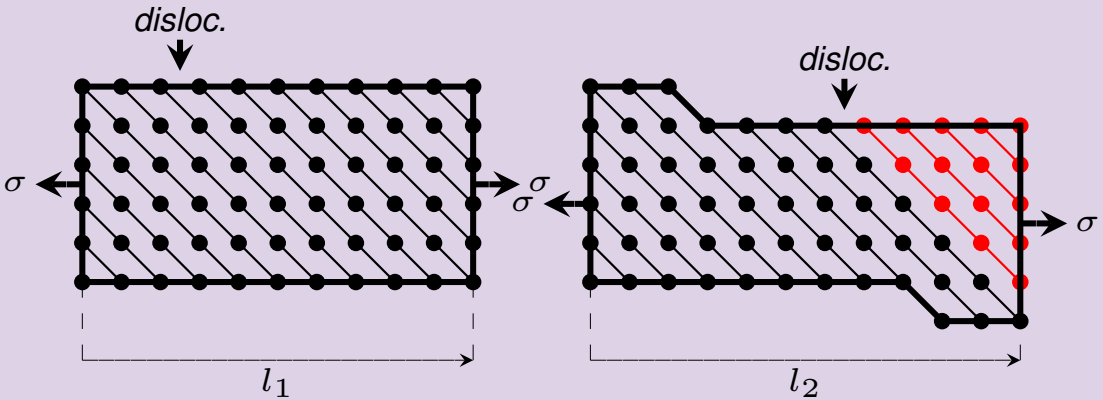


Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille

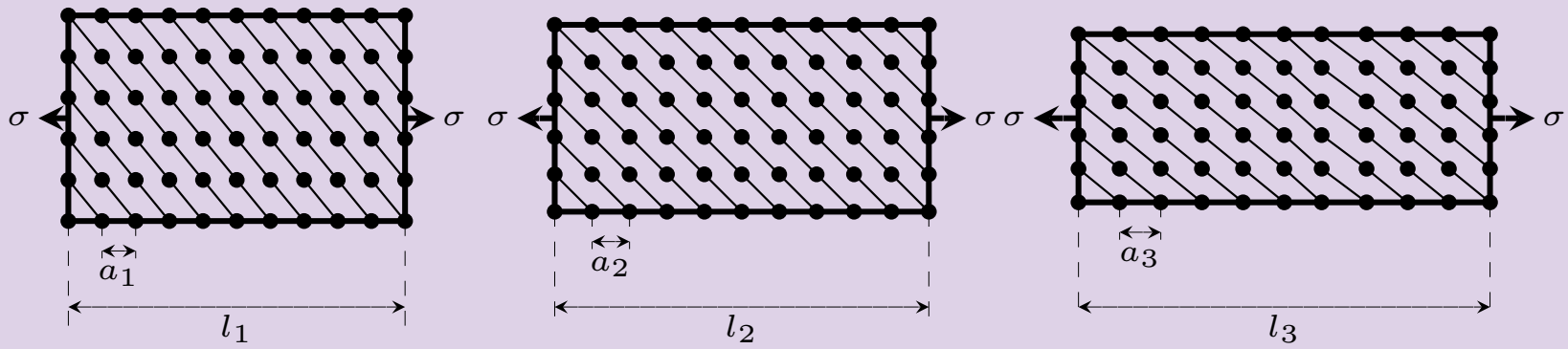


Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

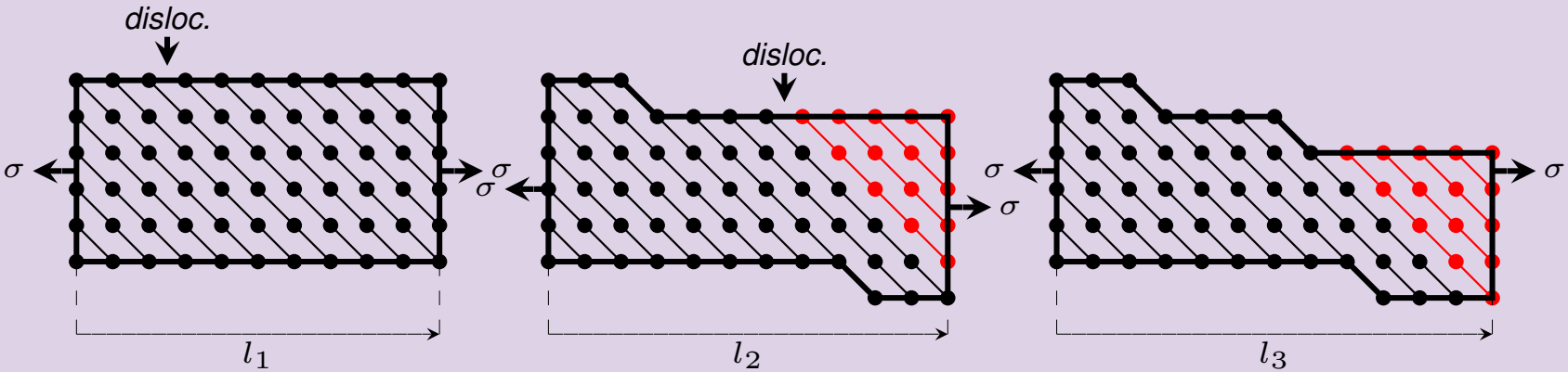


Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille

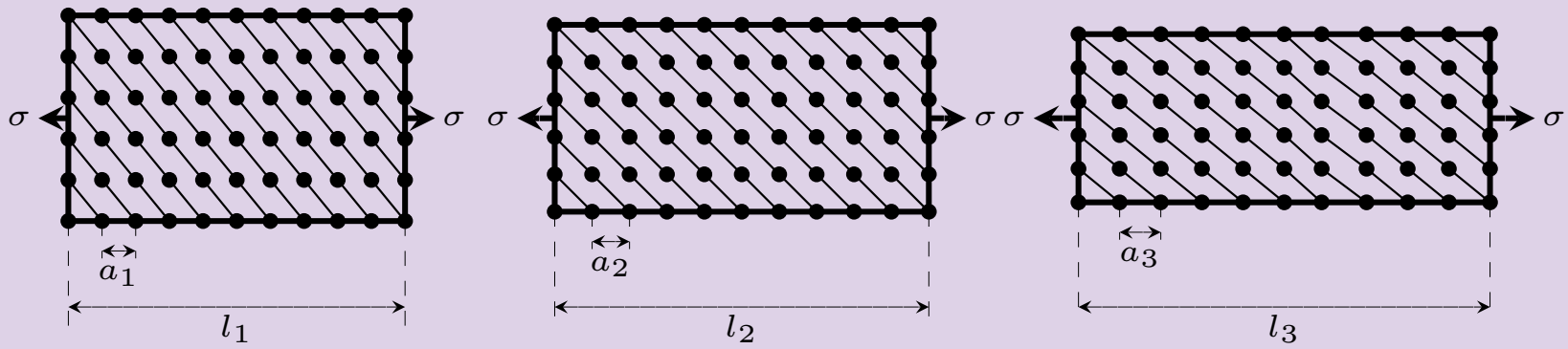


Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

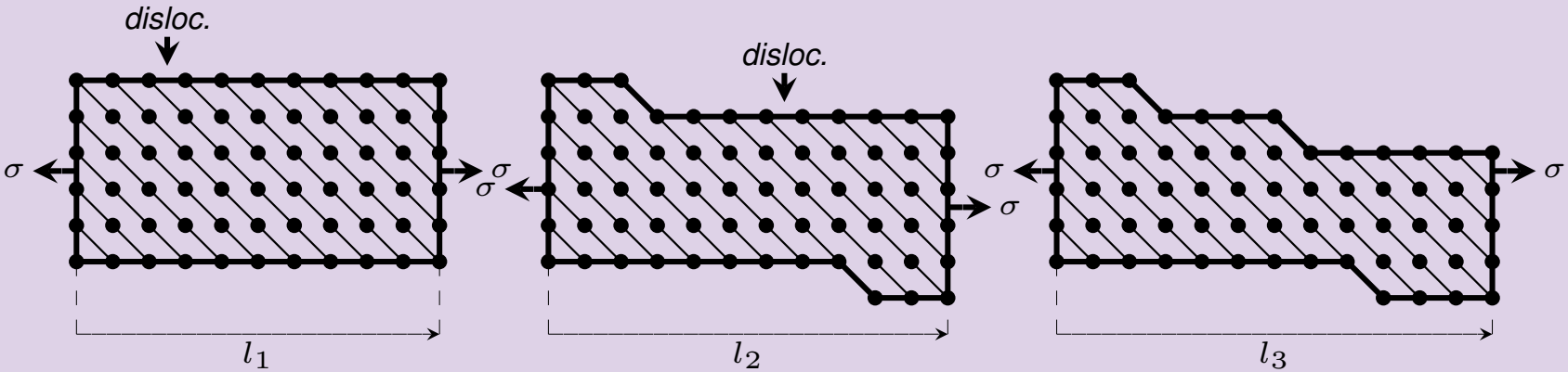


Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille

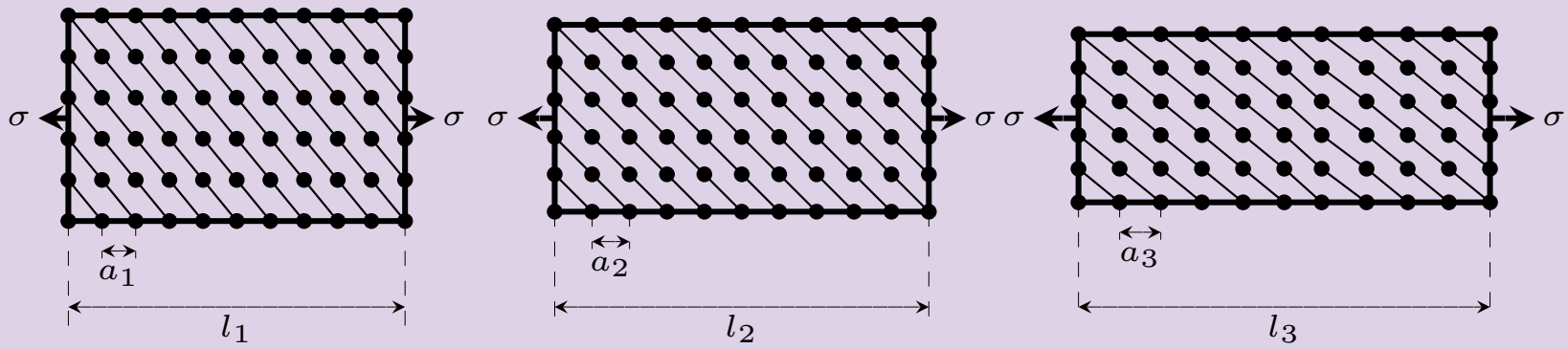


Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

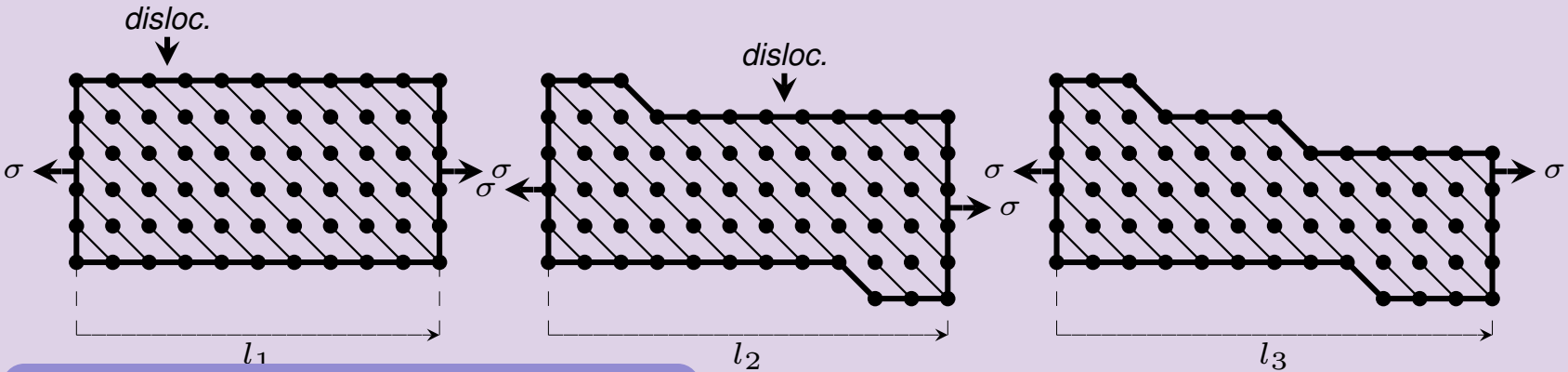


Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille



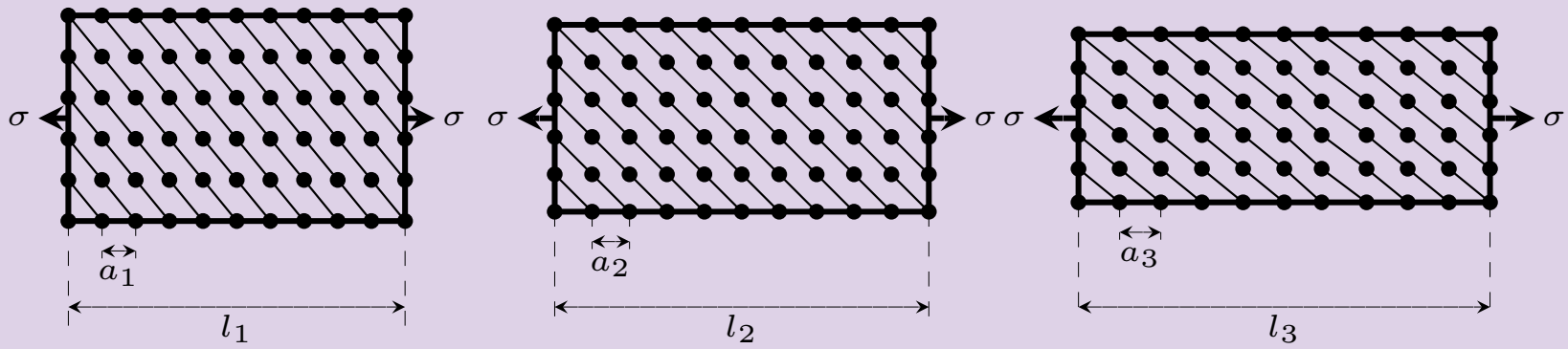
Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations



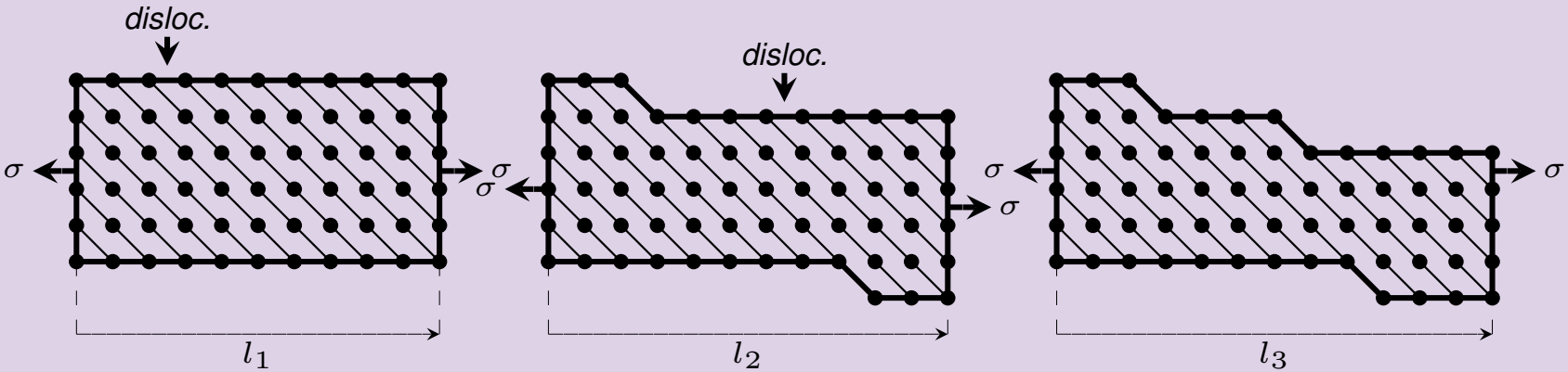
◂ Observation TEM des déformations plastiques

Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille

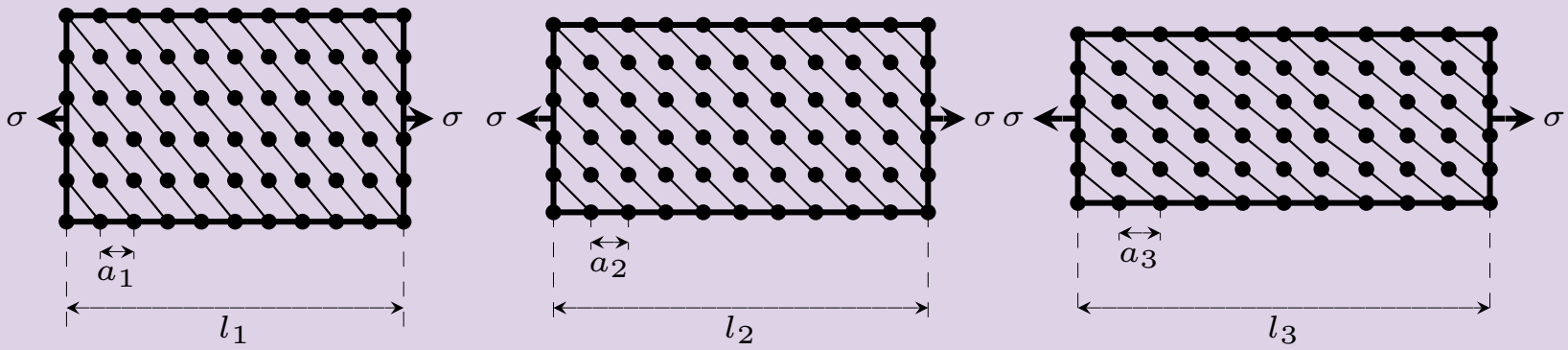


Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations

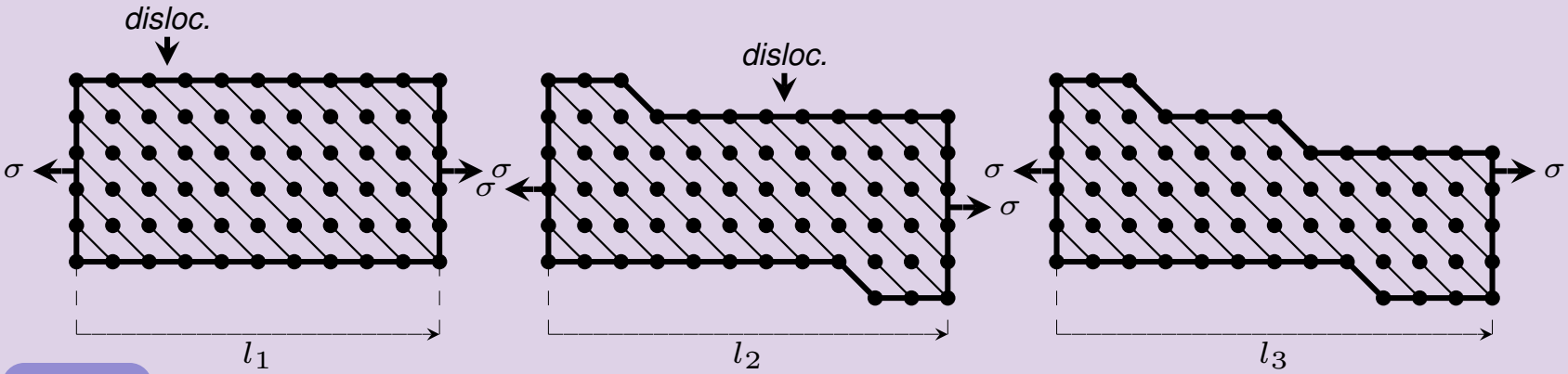


Mobilisation des dislocations

Elasticité ($\sigma < \sigma_e$) : modification des paramètres de maille



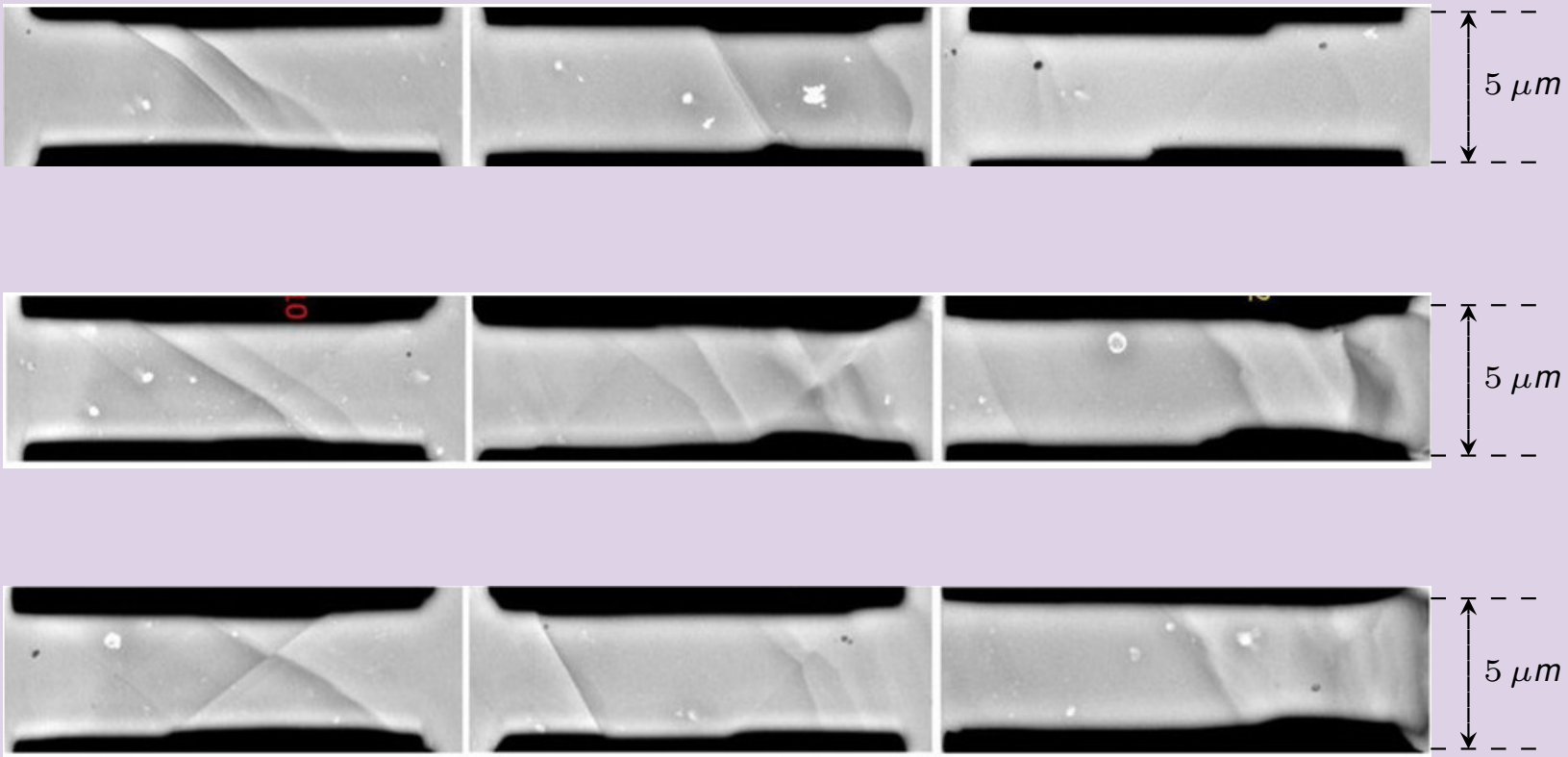
Plasticité ($\sigma > \sigma_e$) : création et mouvement de dislocations



retour

Déformation plastiques

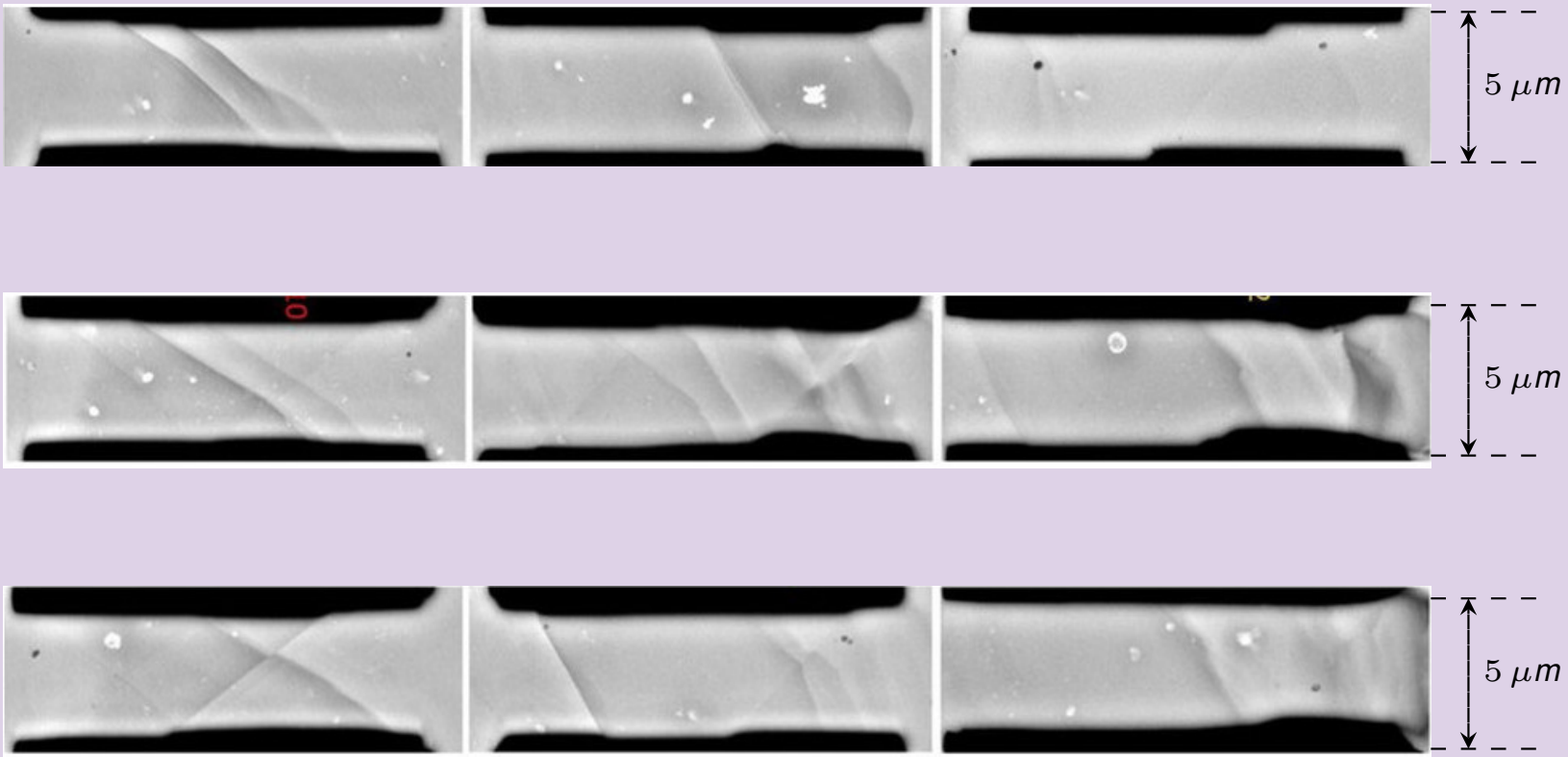
Observation TEM de micro-spécimens de traction



source : Hu, Zuqi et al., Microstructure Formation and Micropillar Compression of Al-TiC Nanocomposite Manufactured by Solidification Nanoprocessing, Metallurgical and Materials Transactions A, 08.2019

Déformation plastiques

Observation TEM de micro-spécimens de traction

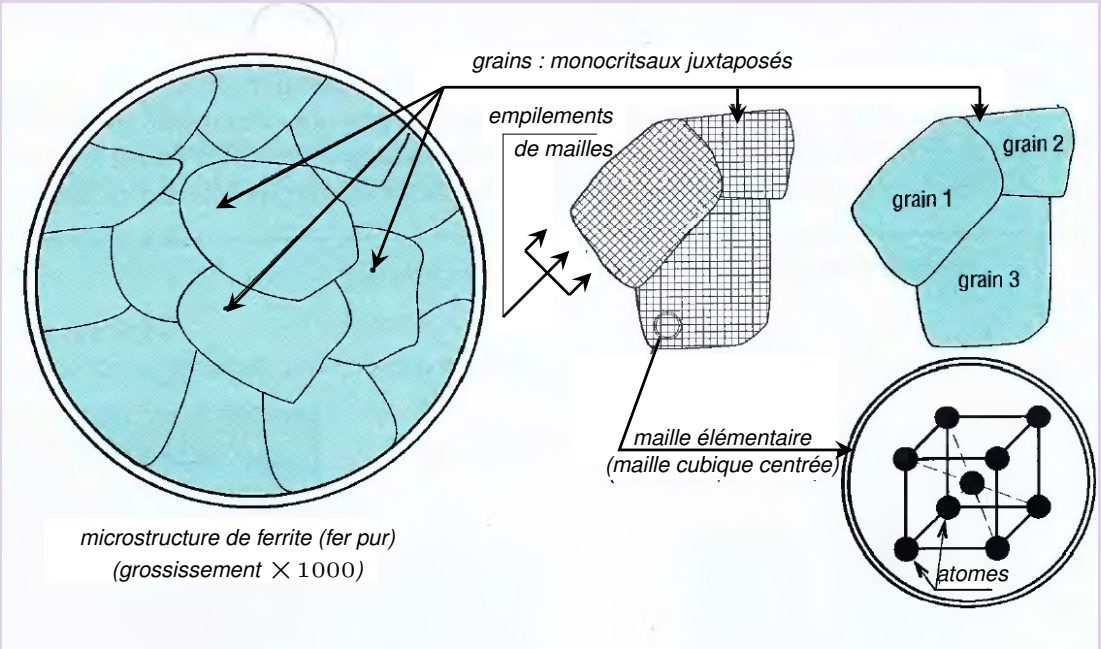


source : Hu, Zuqi et al., Microstructure Formation and Micropillar Compression of Al-TiC Nanocomposite Manufactured by Solidification Nanoprocessing, Metallurgical and Materials Transactions A, 08.2019

retour

Microstructures et grains

- *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).*

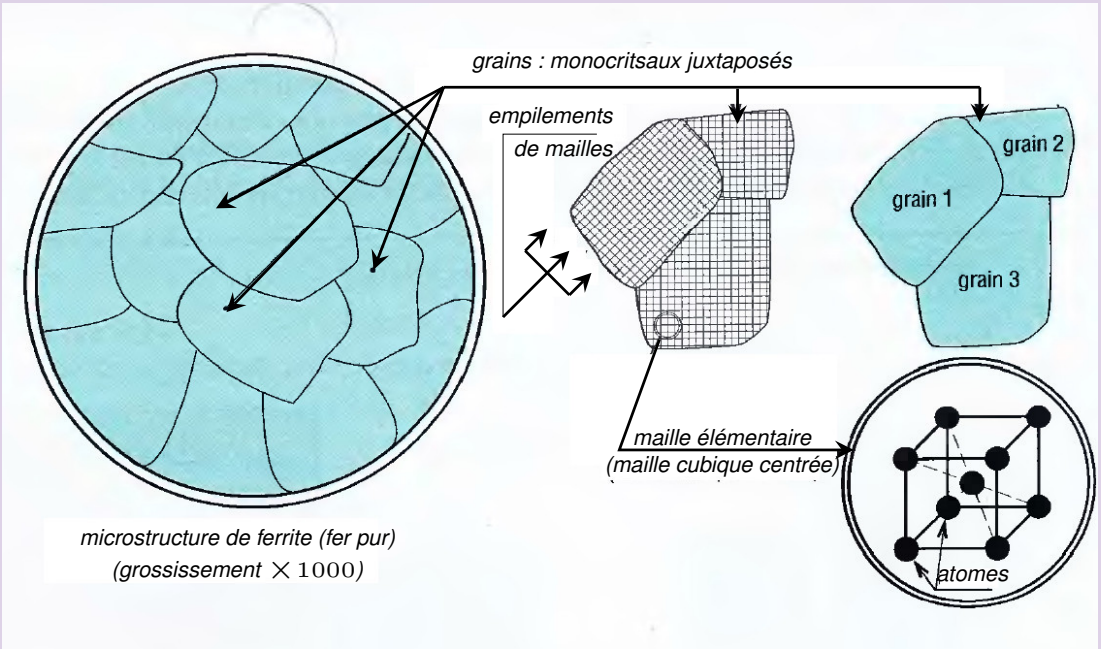


source : Fanchon

- *Les traitements thermiques sont susceptibles de modifier la microstrutcure (i.e la taille et la morphologie des grains).*

Microstructures et grains

- *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).*

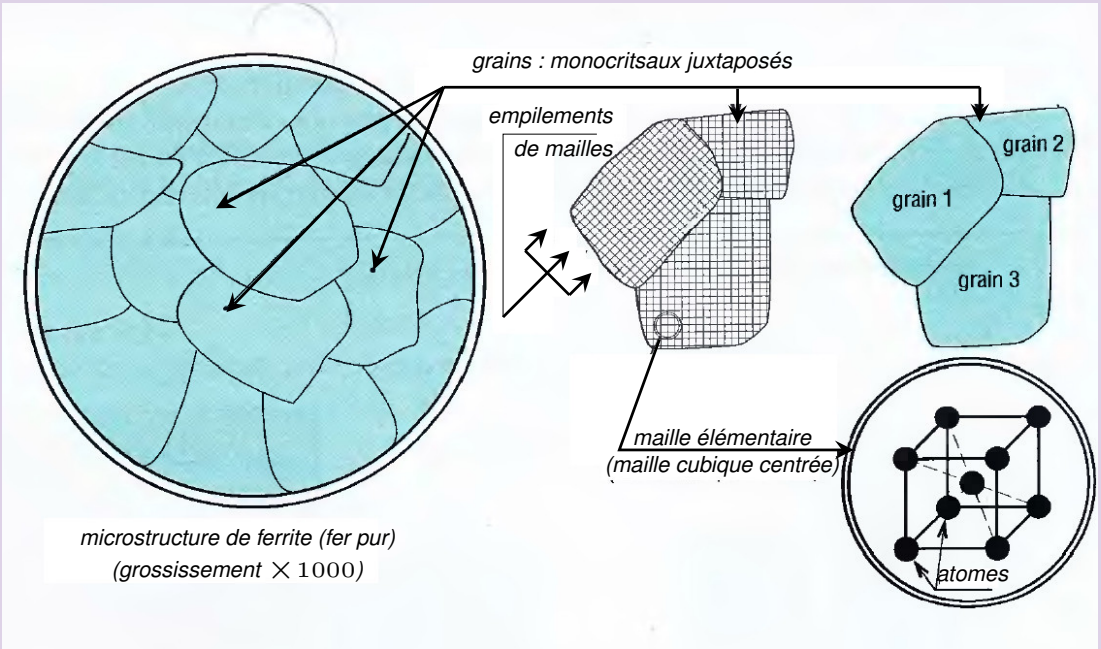


source : Fanchon

- *Les traitements thermiques sont susceptibles de modifier la microstrutcure (i.e la taille et la morphologie des grains).*

Microstructures et grains

- *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).*

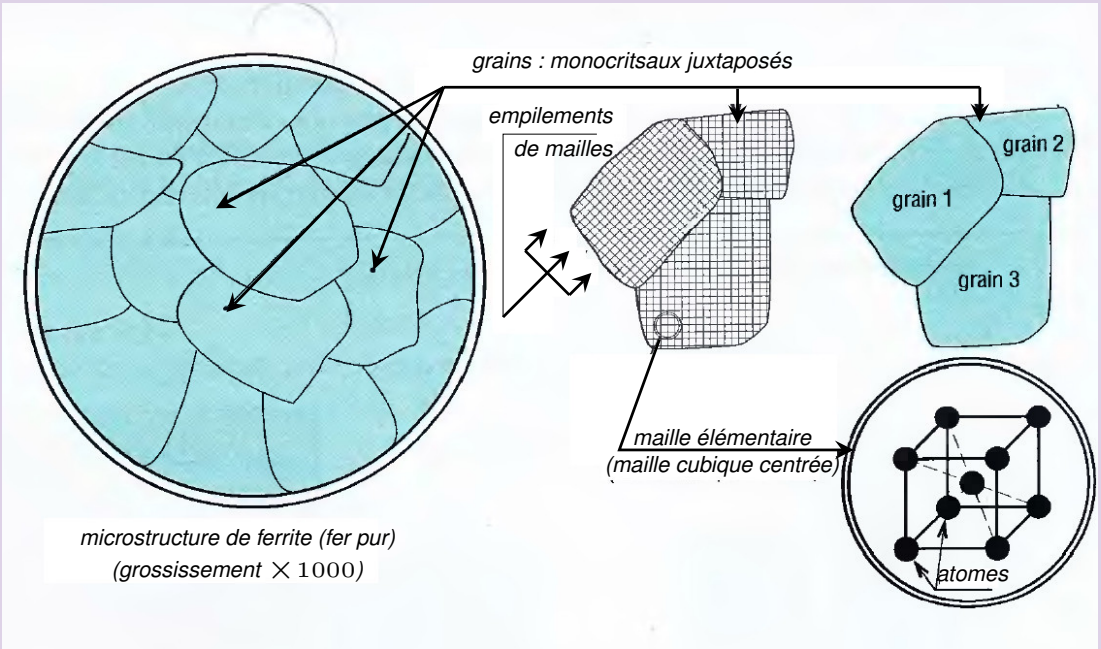


source : Fanchon

- *Les traitements thermiques sont susceptibles de modifier la microstrutcure (i.e la taille et la morphologie des grains).*

Microstructures et grains

- *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).*



source : Fanchon

- *Les traitements thermiques sont susceptibles de modifier la microstrutcure (i.e la taille et la morphologie des grains).*

retour

Courbe de traction réelles - différentes val. de n

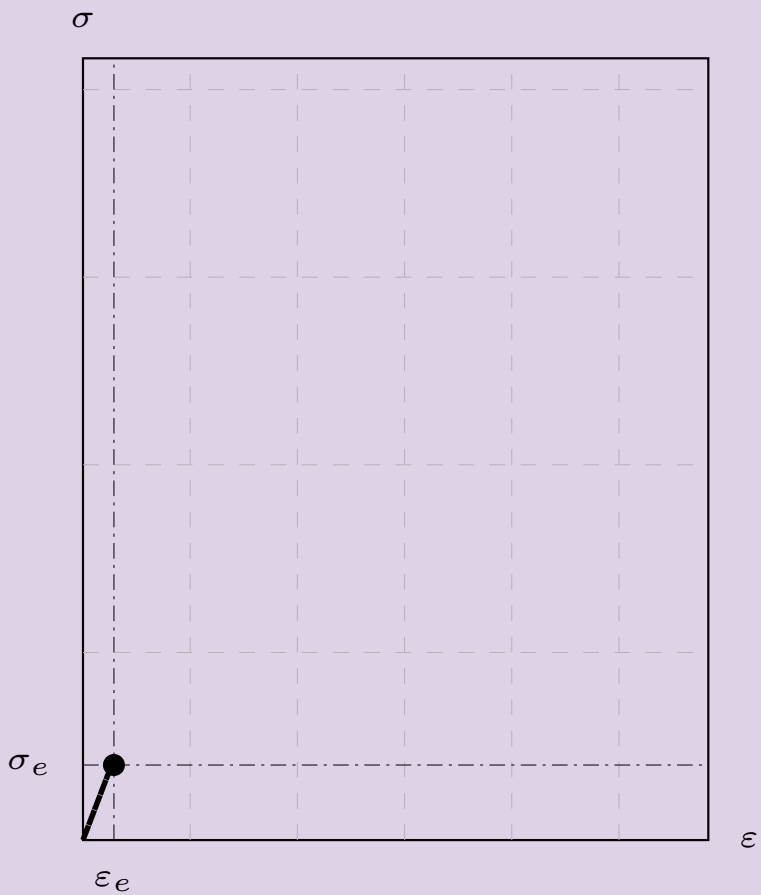


Fig. *Courbe de traction réelle*

Courbe de traction réelles - différentes val. de n

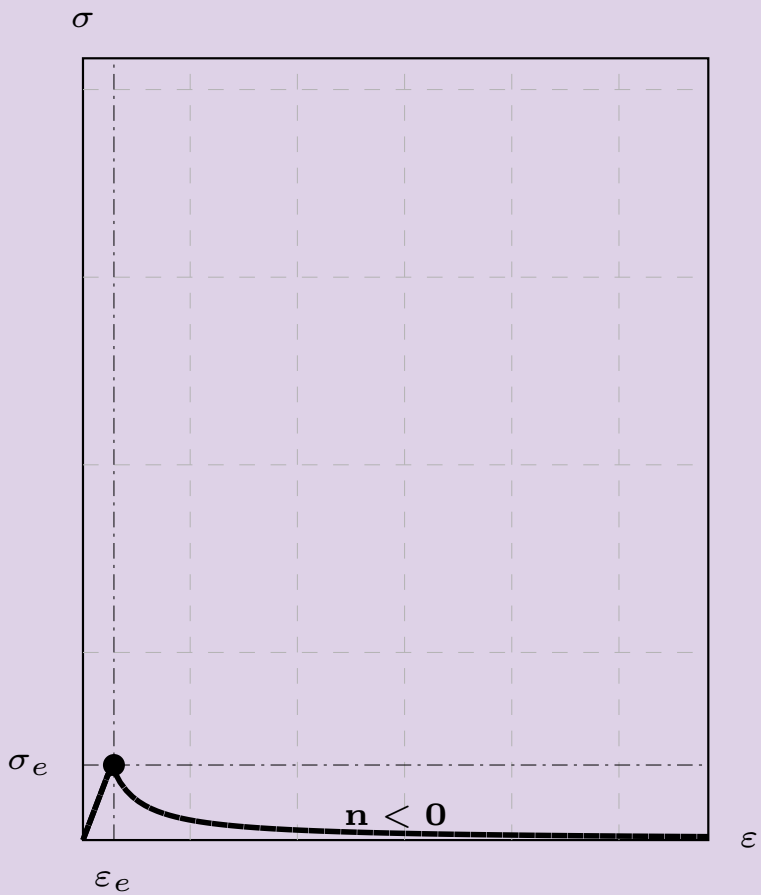


Fig. *Courbe de traction réelle*

Courbe de traction réelles - différentes val. de n

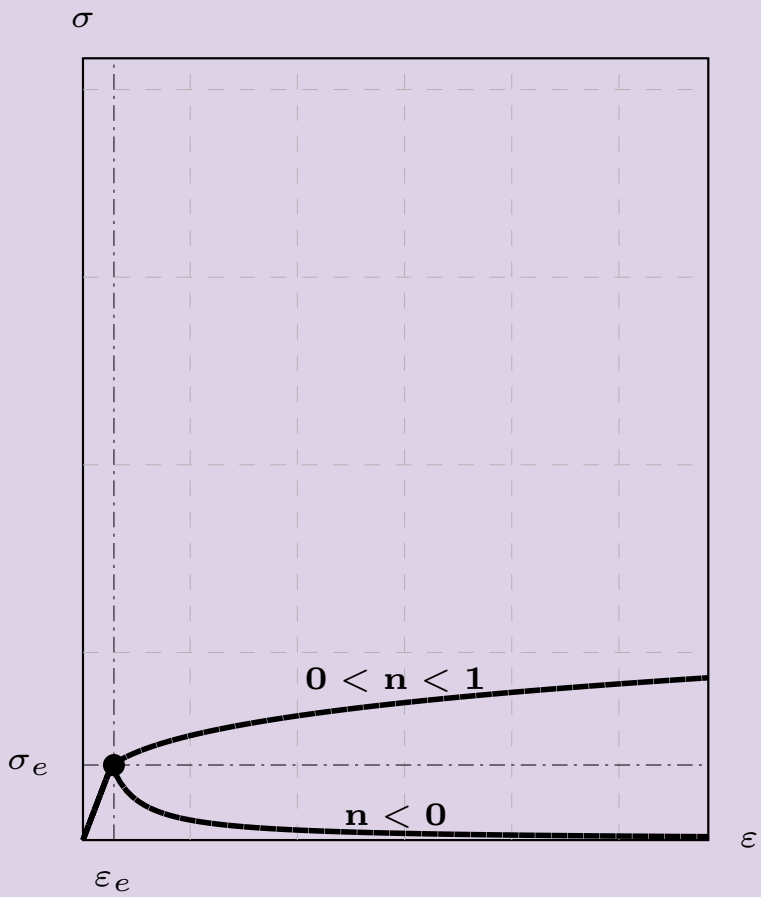


Fig. *Courbe de traction réelle*

Courbe de traction réelles - différentes val. de n

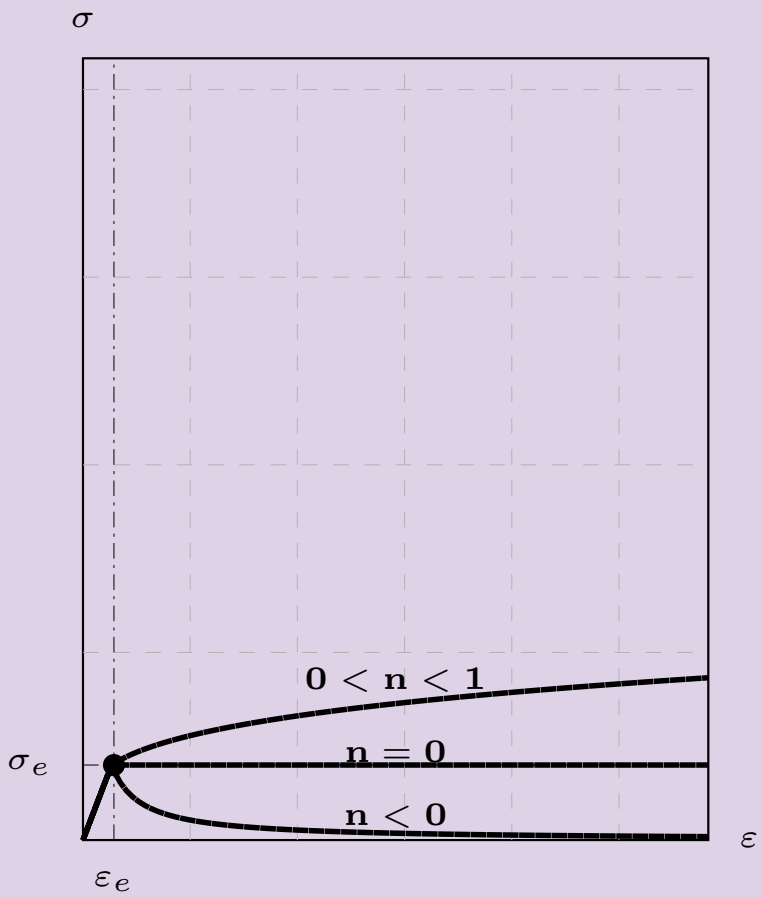


Fig. *Courbe de traction réelle*

Courbe de traction réelles - différentes val. de n

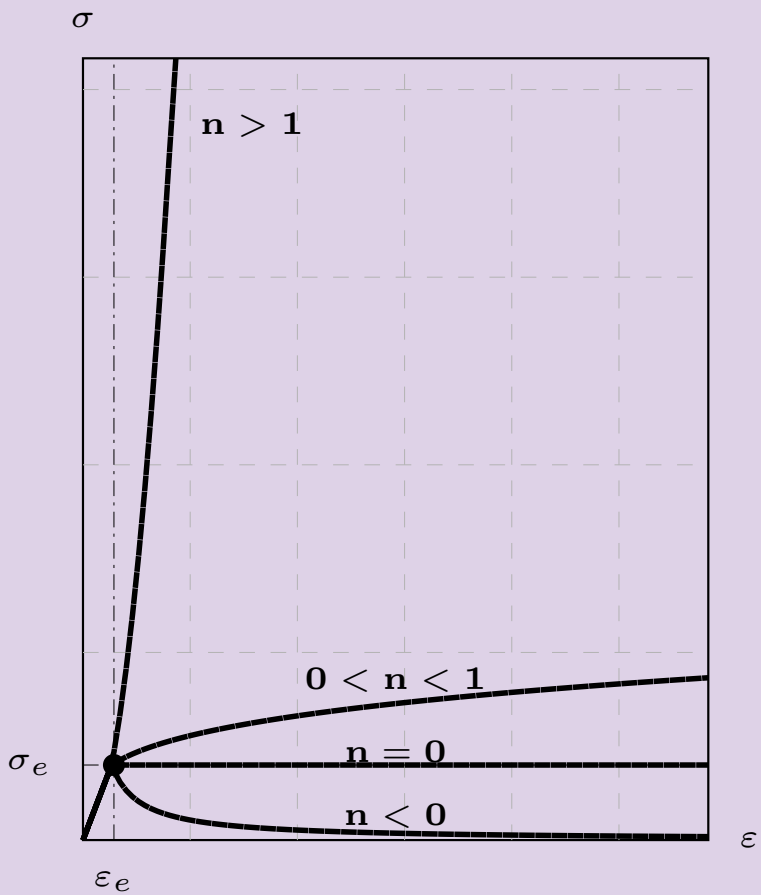


Fig. *Courbe de traction réelle*

Courbe de traction réelles - différentes val. de n

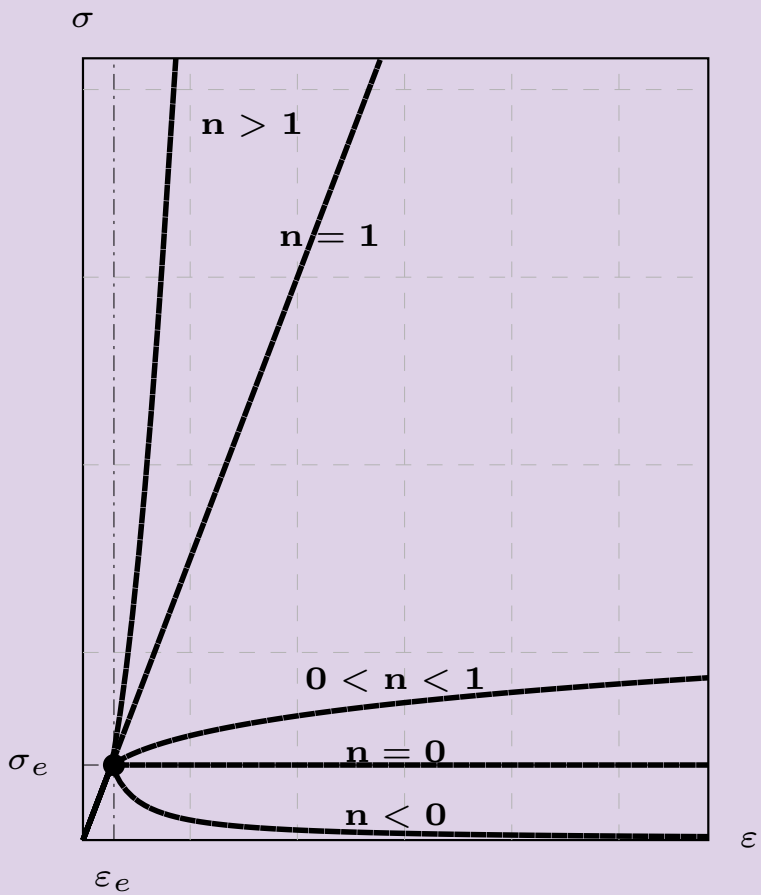


Fig. *Courbe de traction réelle*

Courbe de traction réelles - différentes val. de n

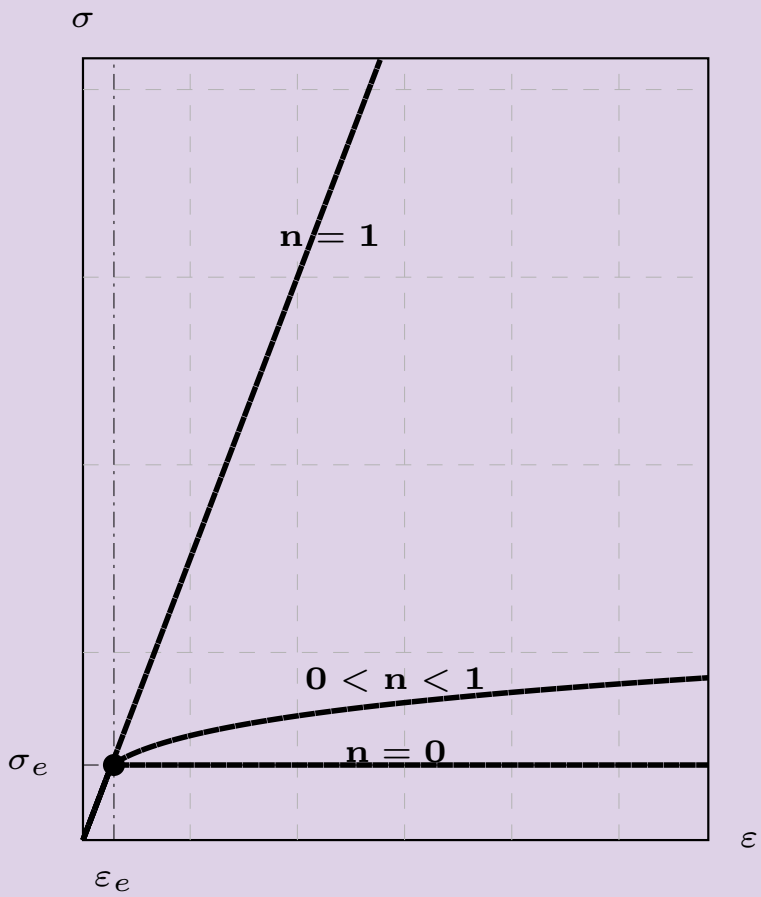


Fig. *Courbe de traction réelle*

Courbe de traction réelles - différentes val. de n

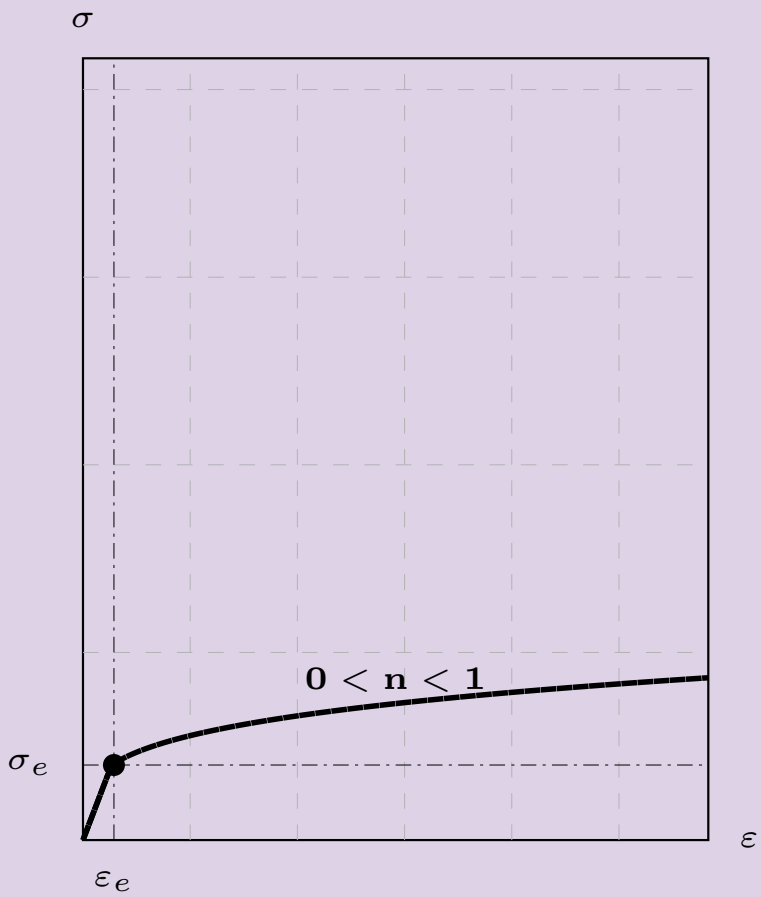


Fig. *Courbe de traction réelle*

Courbe de traction réelles - différentes val. de n

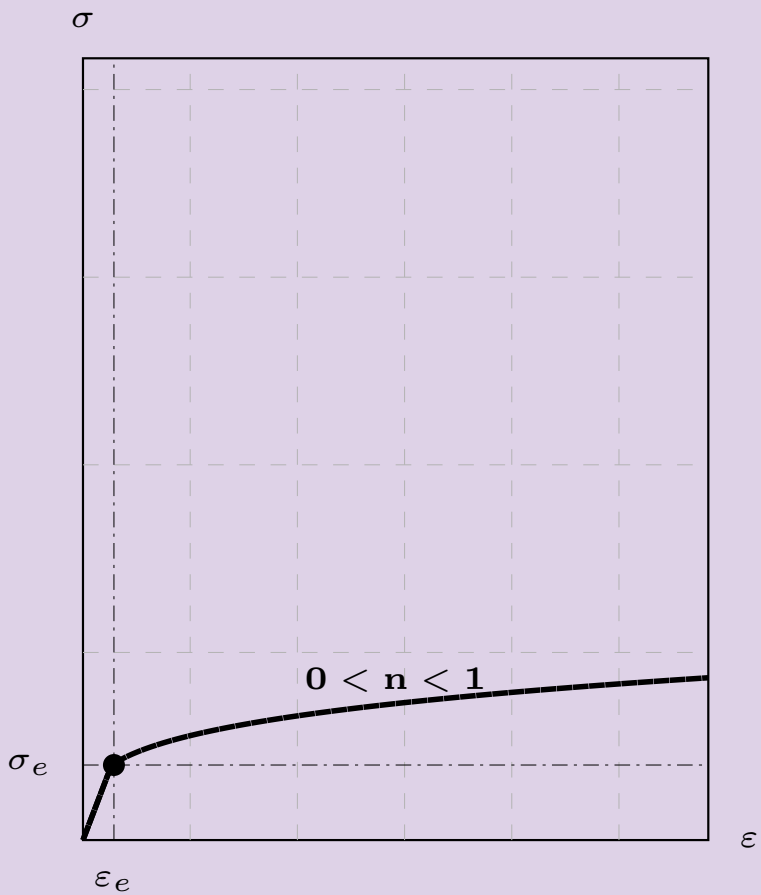


Fig. *Courbe de traction réelle*

retour

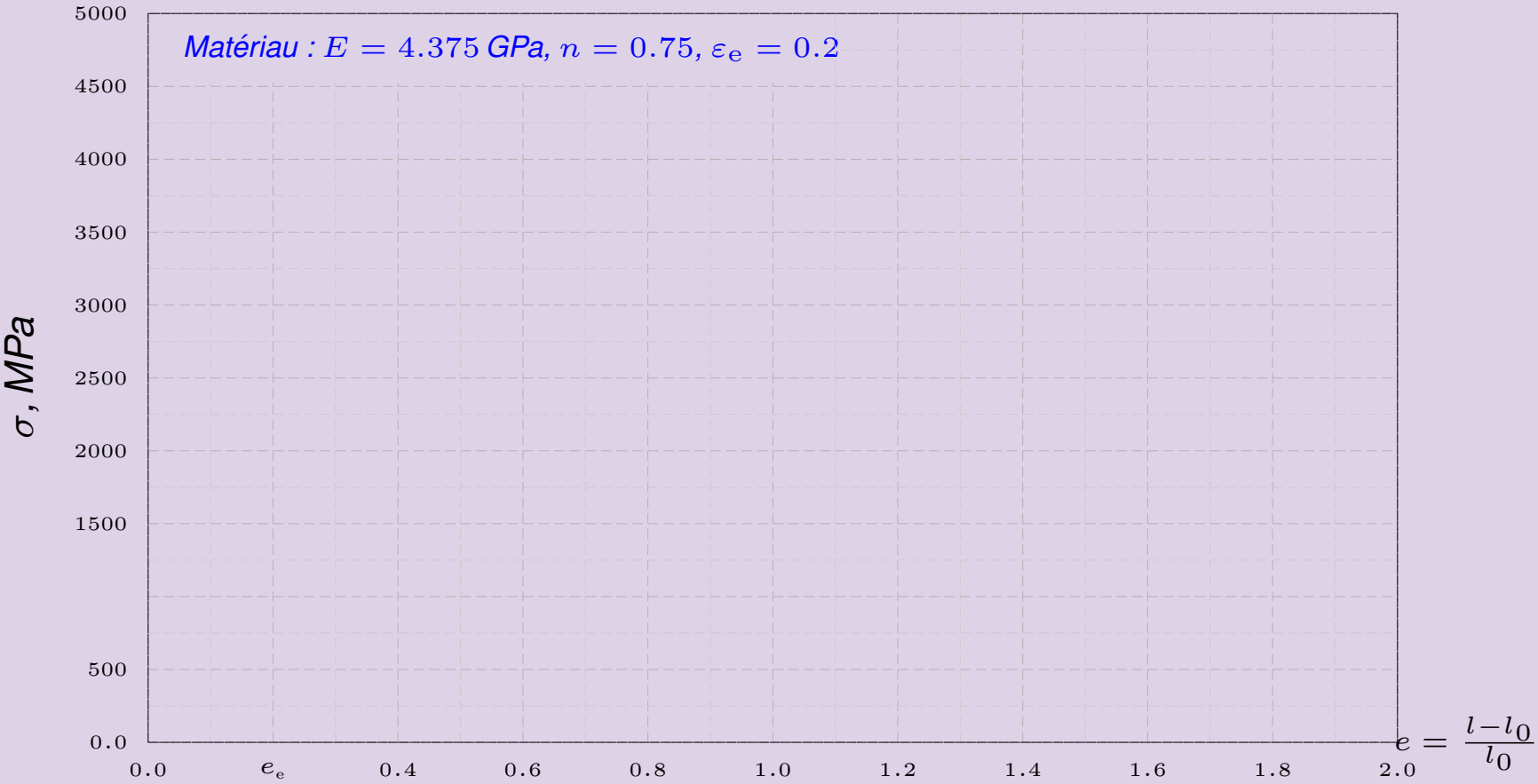
Utilisation du taux nominal

- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée.*



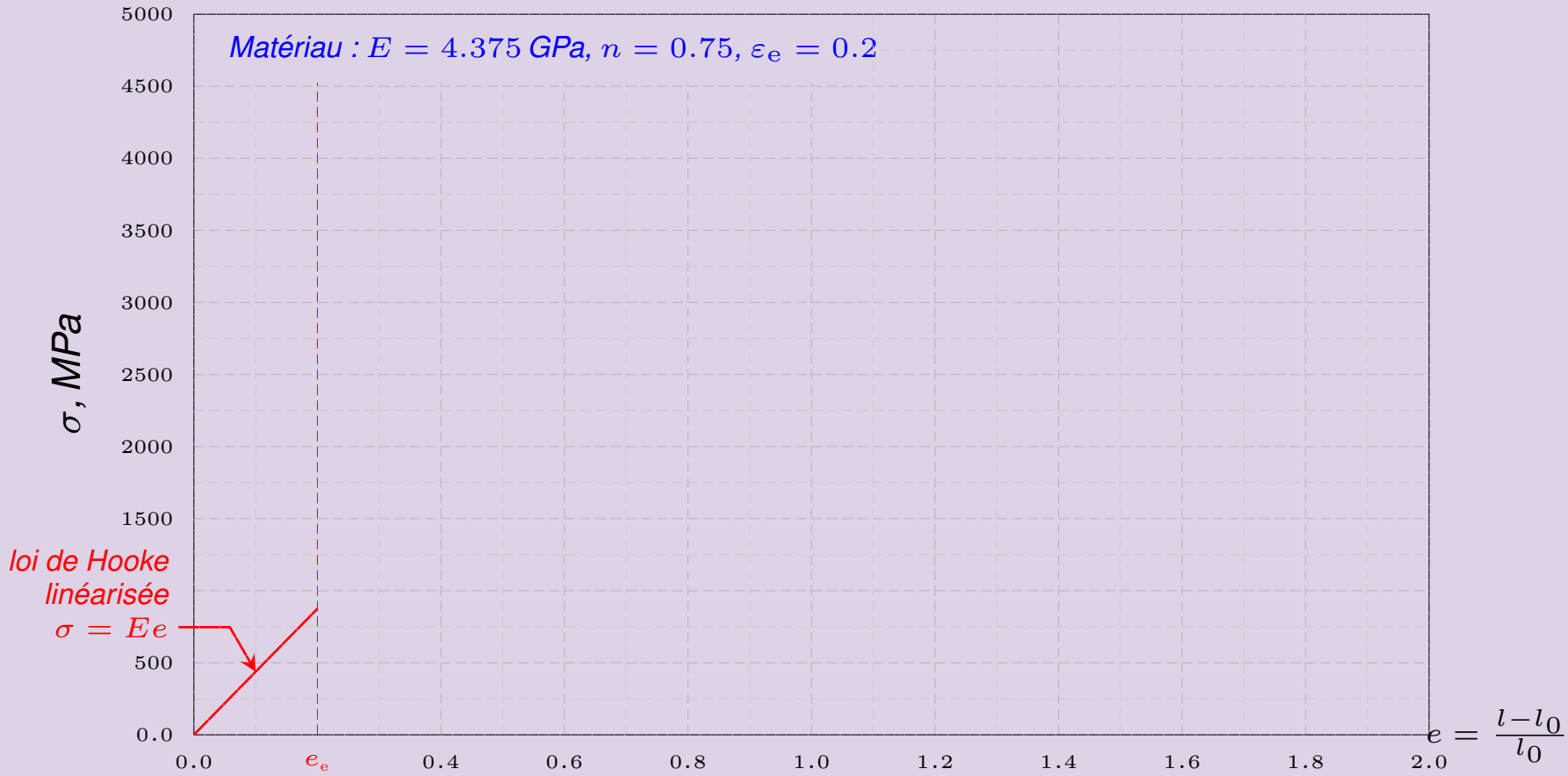
Utilisation du taux nominal

- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée.*



Utilisation du taux nominal

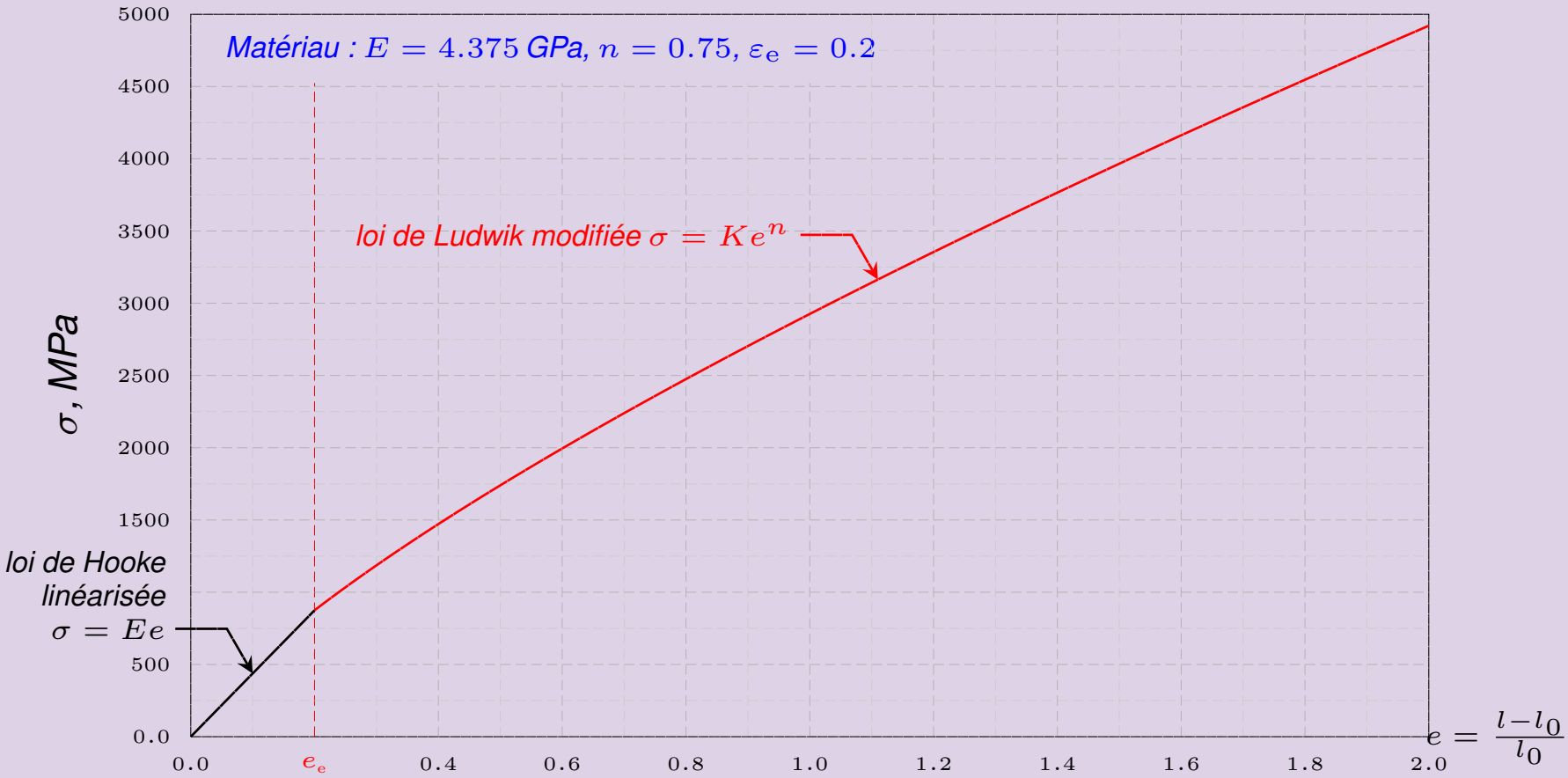
- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée. Pour cela, on utilise la courbe de traction pour déformations (e,σ) ∈ [0, 0.2] × [0, 5000]*



Un montée élastique jusqu'à e_e

Utilisation du taux nominal

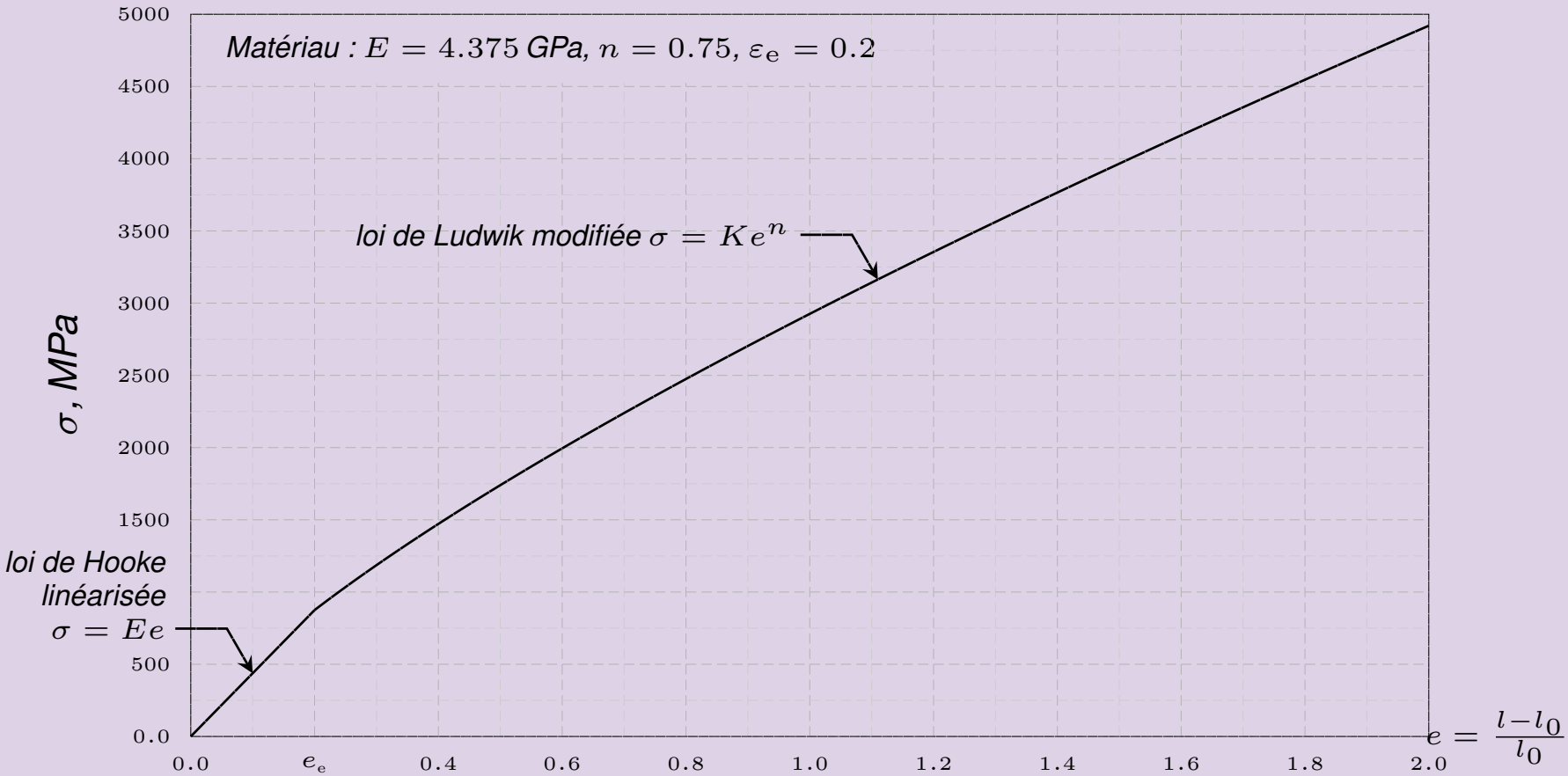
- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée. Pour cela, on utilise la courbe de traction (force de contact) pour différentes déformations (e.g. $e = 0.05$).*



Un écrouissage (Ludwik) depuis e_e

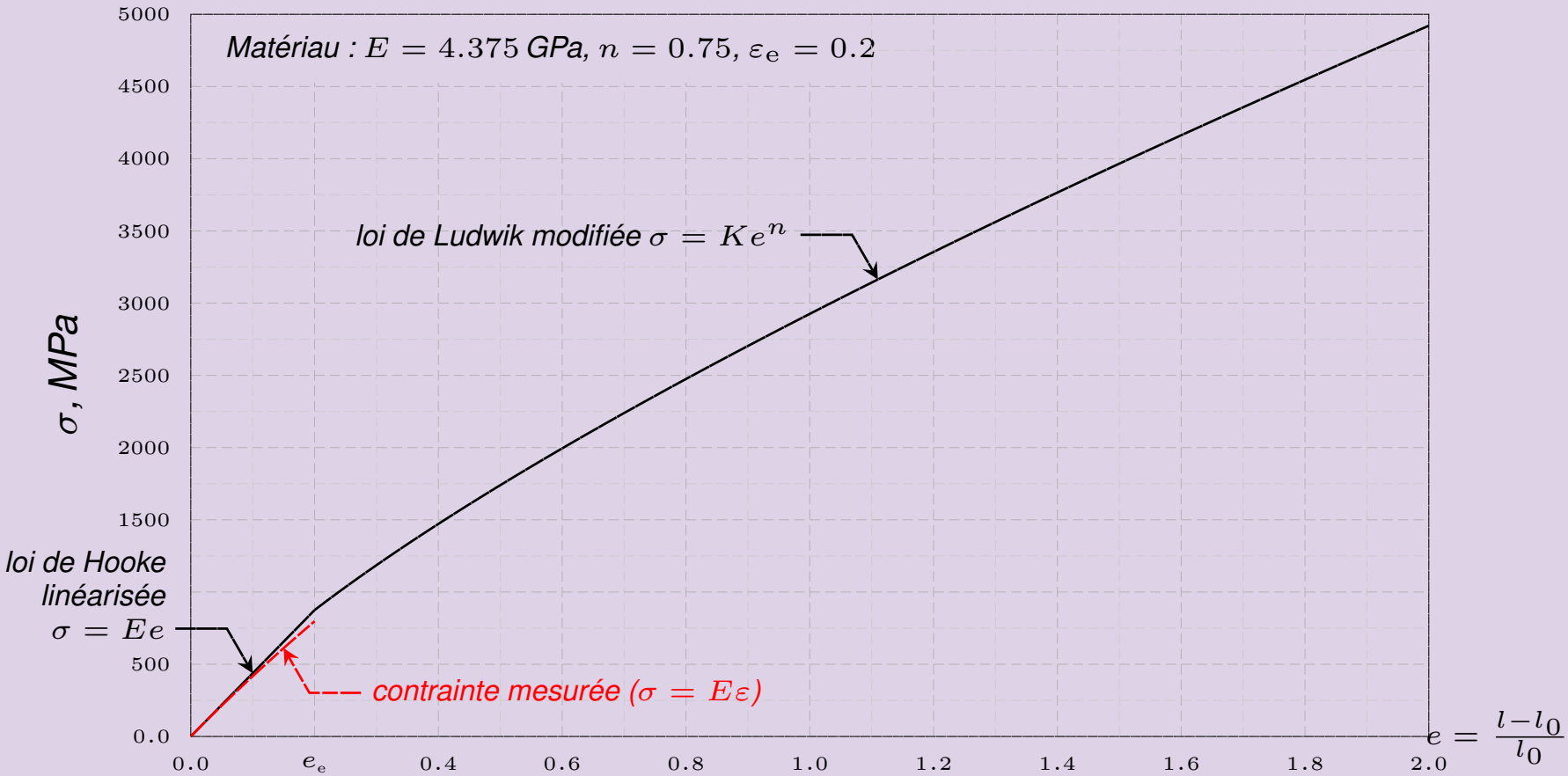
Utilisation du taux nominal

- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée. L'erreur n'est pas significative dans le contexte des petites déformations (e.g. $e \ll 0.05$),*



Utilisation du taux nominal

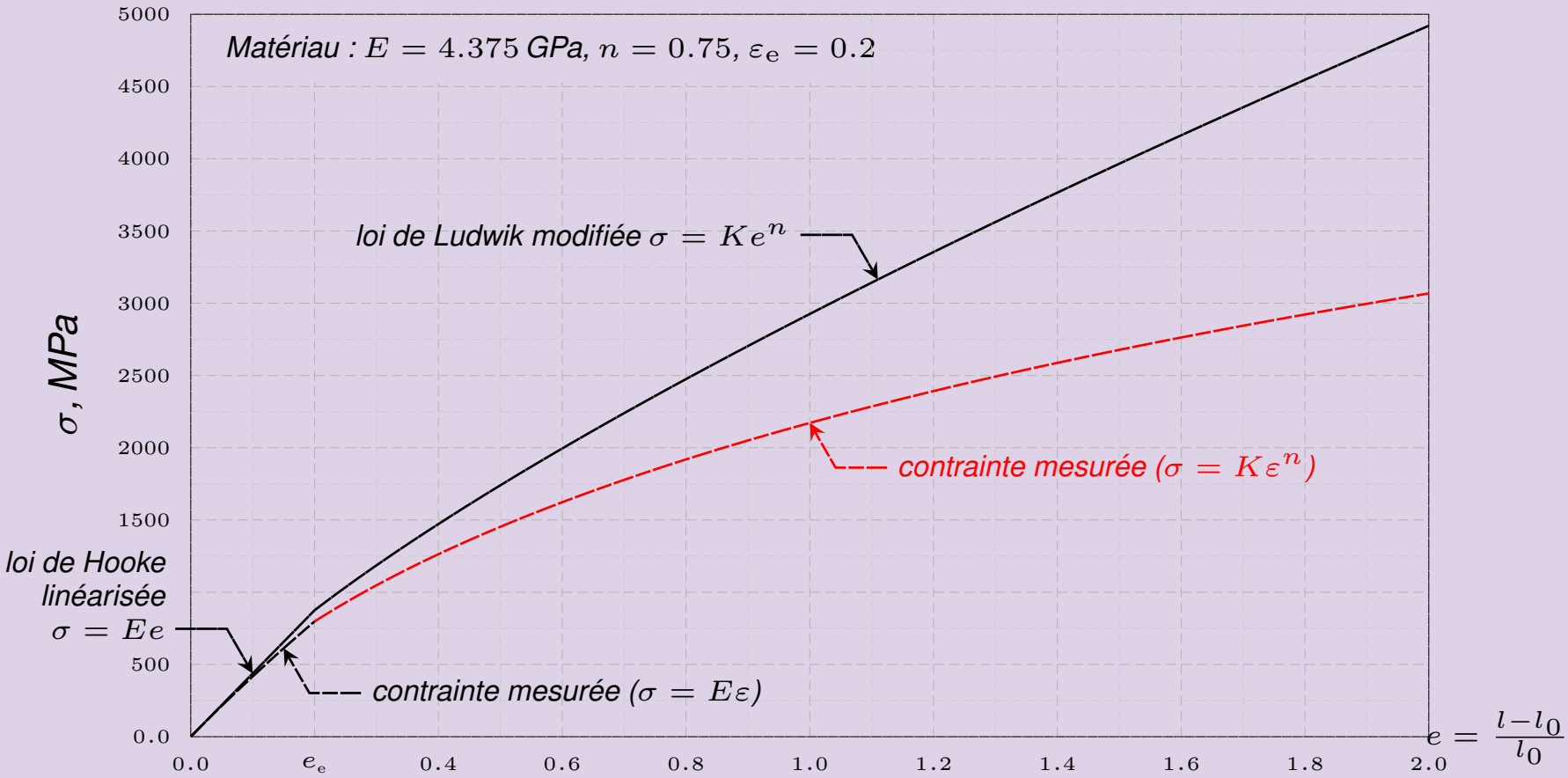
- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée. L'erreur n'est pas significative dans le contexte des petites déformations (e.g. $e \ll 0.05$),*



Un montée élastique jusqu'à e_e

Utilisation du taux nominal

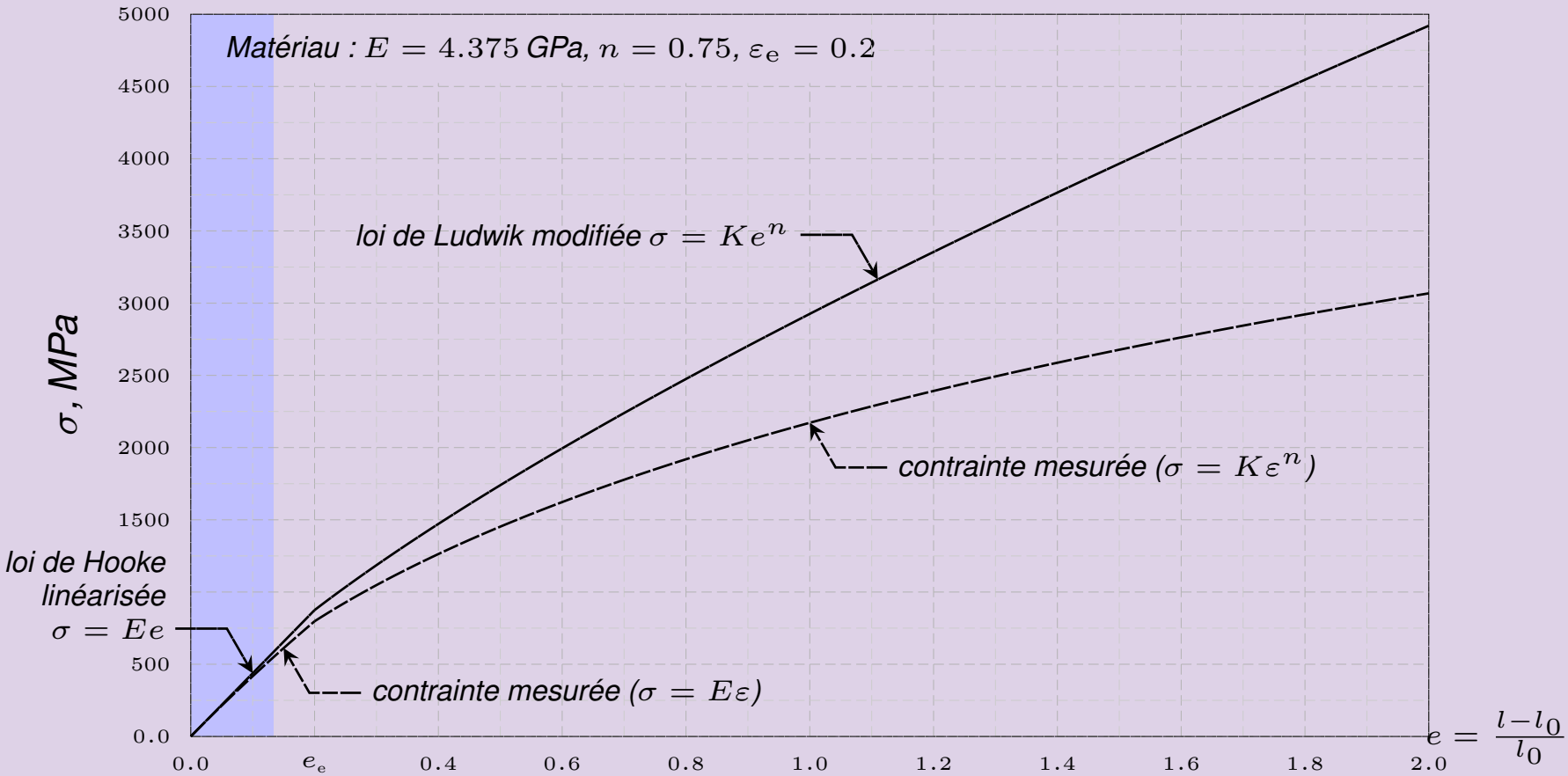
- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée. L'erreur n'est pas significative dans le contexte des petites déformations (e.g. $e \ll 0.05$), mais est impossible à justifier dans le cas des grandes déformations.*



Un écrouissage (Ludwik) depuis e_e

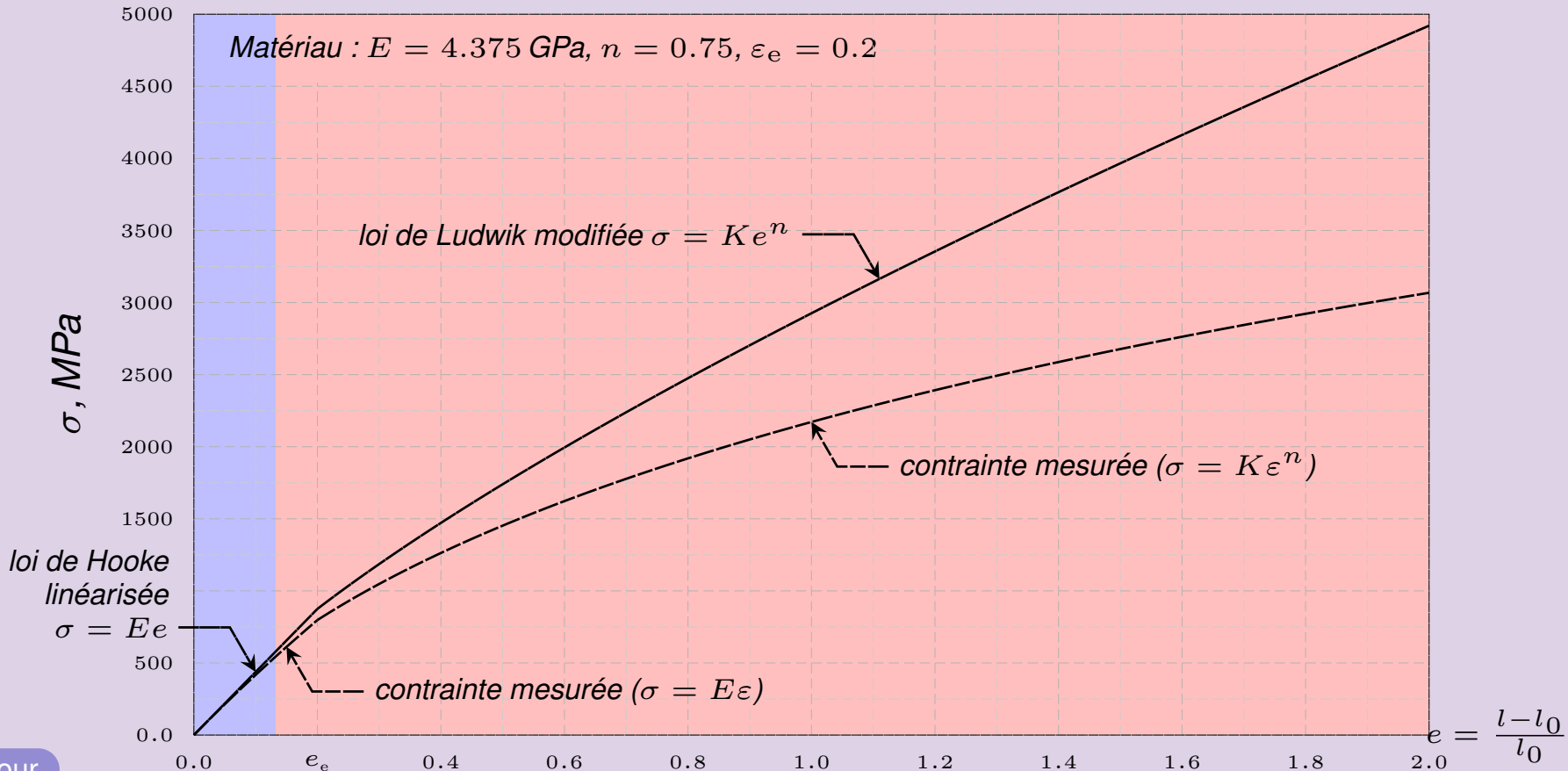
Utilisation du taux nominal

- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée. L'erreur n'est pas significative dans le contexte des petites déformations (e.g. $e \ll 0.05$), mais est impossible à justifier dans le cas des grandes déformations.*



Utilisation du taux nominal

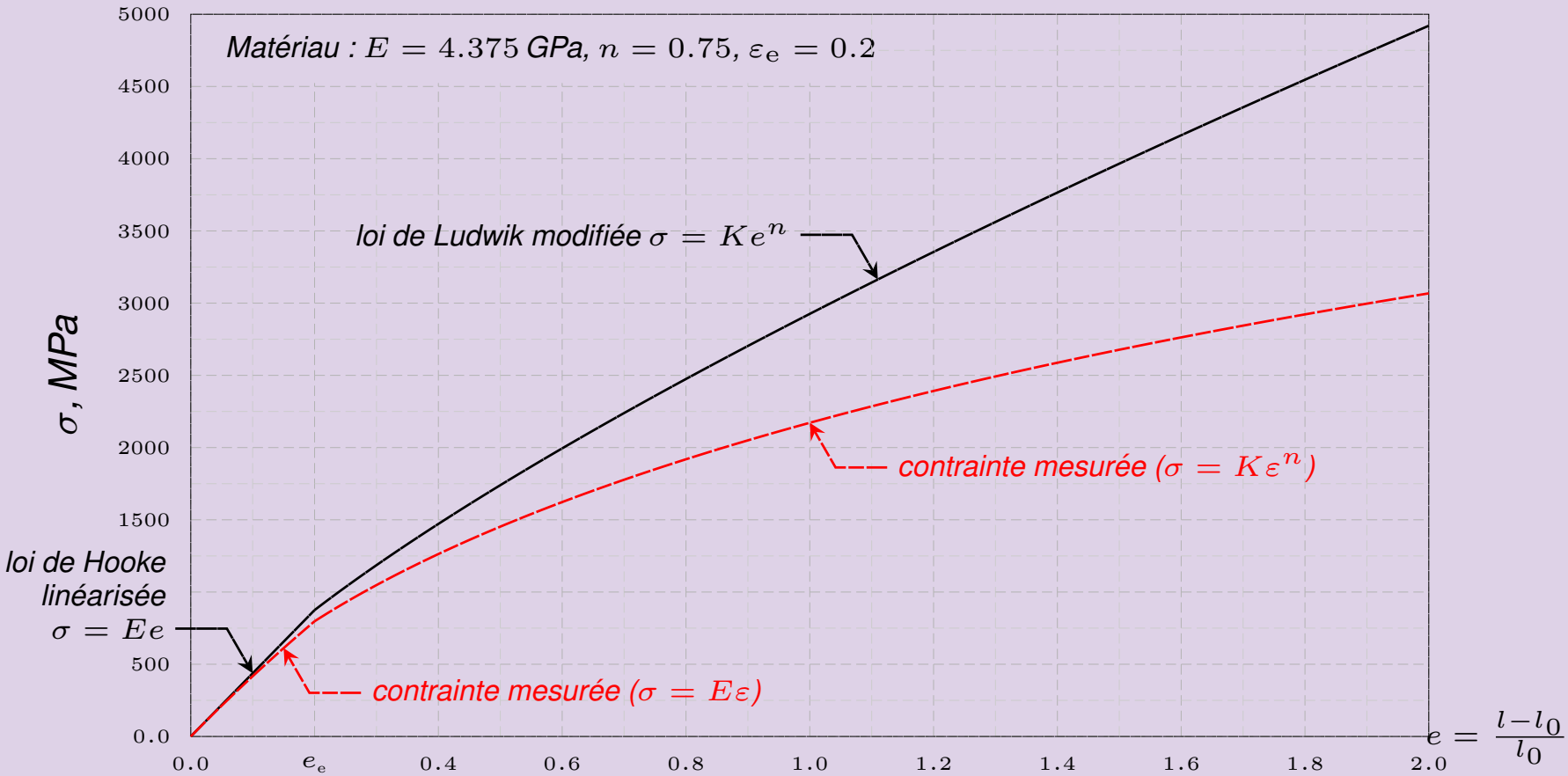
- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée. L'erreur n'est pas significative dans le contexte des petites déformations (e.g. $e \ll 0.05$), mais est impossible à justifier dans le cas des grandes déformations.*



◂ retour

Utilisation du taux nominal

- *Pour le matériau donné, calculons la contrainte réelle en remplaçant le taux réel ε par le taux nominal e dans les lois de Hooke/Ludwik. Ajoutons sur le même graphique, la valeur de σ telle qu'elle sera mesurée. L'erreur n'est pas significative dans le contexte des petites déformations (e.g. $e \ll 0.05$), mais est impossible à justifier dans le cas des grandes déformations.*



Comment ai-je tracé la courbe en traitillé (TABLEAUX 1M) ?

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	*nominal*
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l - l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l - l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l - l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 ($\sigma = E\varepsilon$ ou $\sigma \approx E\varepsilon$ seul si $\varepsilon \lesssim 5\%$ (cf. exos)),*
  - *(ii) étude avec relations cinématiques simplifiées,*
  - *(iii) traitement de lois de comportement plus complexes (cf. cours).*
- *La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile.*
- *Les informations données par σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

▸ Etude des rebonds élastiques

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile.*
- *Les informations données par σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Passons sur cette remarque un peu philosophique !

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *La **contrainte nominale** est par contre une grandeur **fondamentale** et très utile.*
- *Les informations données par σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Passons sur cette remarque un peu philosophique !

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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 σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Le taux de déf. impliquée par deux déf. successives est la somme des taux individuels

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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 σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont* ***complémentaires****.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **complémentaires**.*
- *Notons que $R \leq \sigma$*

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **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

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **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

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **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

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **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

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **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

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **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.*

Pourquoi donc ?

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **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.*

Pourquoi donc ?

Valeurs nominales et valeurs réelles

	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **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.*

⏩ Contrainte nominale aux tableaux

Valeurs nominales et valeurs réelles

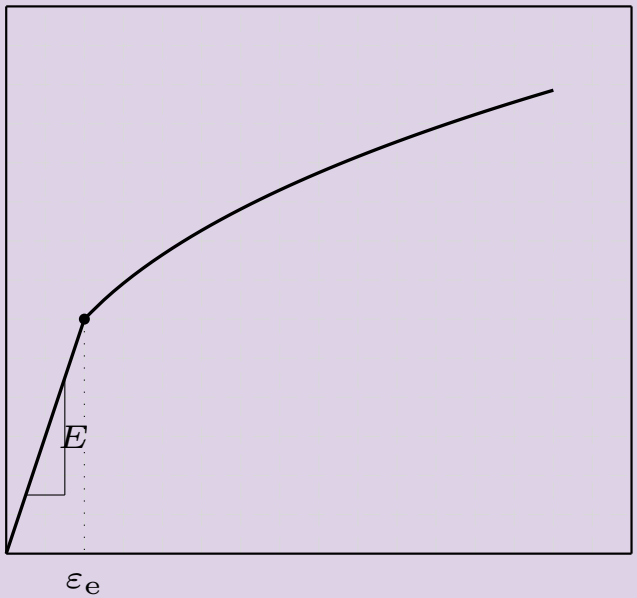
	réel	***nominal***
taux de déformation	$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$	$e = \frac{l-l_0}{l_0}$
contrainte	$\sigma = \frac{F}{S}$	$R = \frac{F}{S_0}$

- *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 donc additivité !*
- *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. En conséquence, le terme force normalisée serait plus adapté que contrainte nominale.*
- *Les informations données par σ et R sont **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*

σ : *contrainte réelle, MPa*



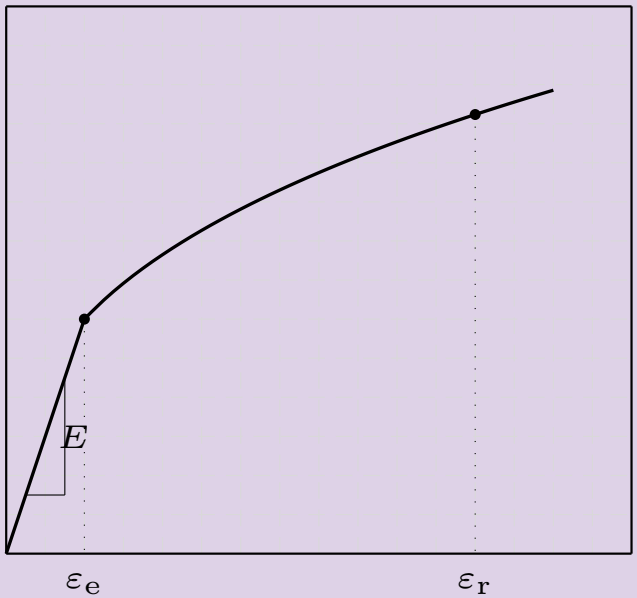
ε : *tx de déf. réel*

Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

avec le taux nominal

σ : *contrainte réelle, MPa*

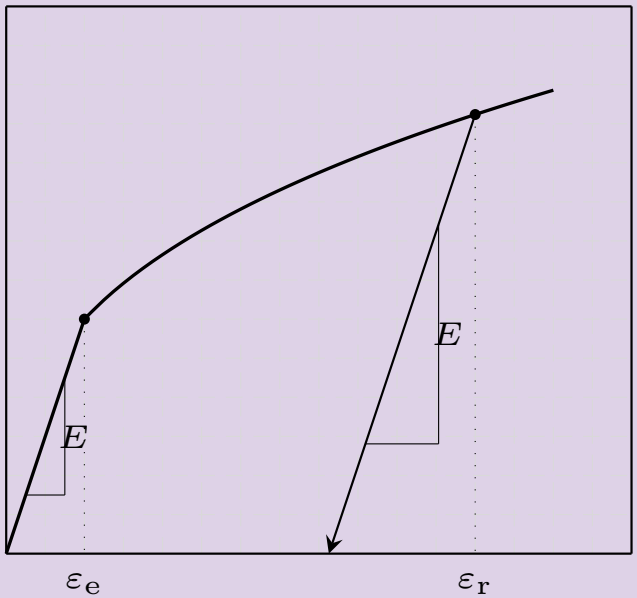


ε : *tx de déf. réel*

Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel | *avec le taux nominal*

σ : *contrainte réelle, MPa*

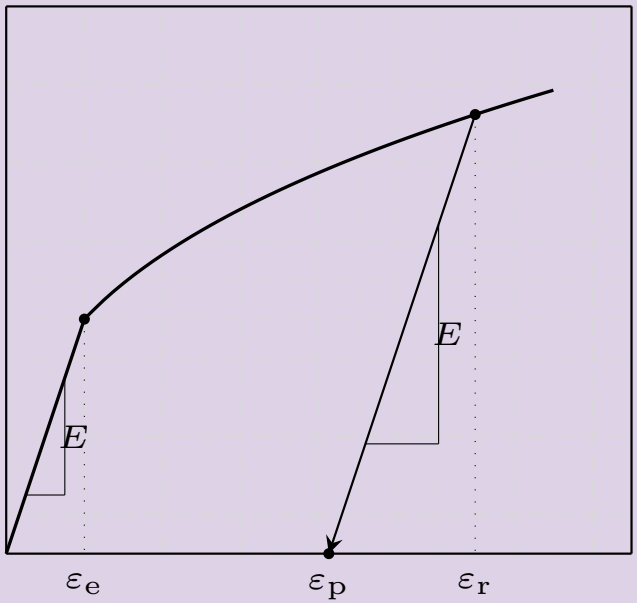


ε : *tx de déf. réel*

Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel | *avec le taux nominal*

σ : *contrainte réelle, MPa*



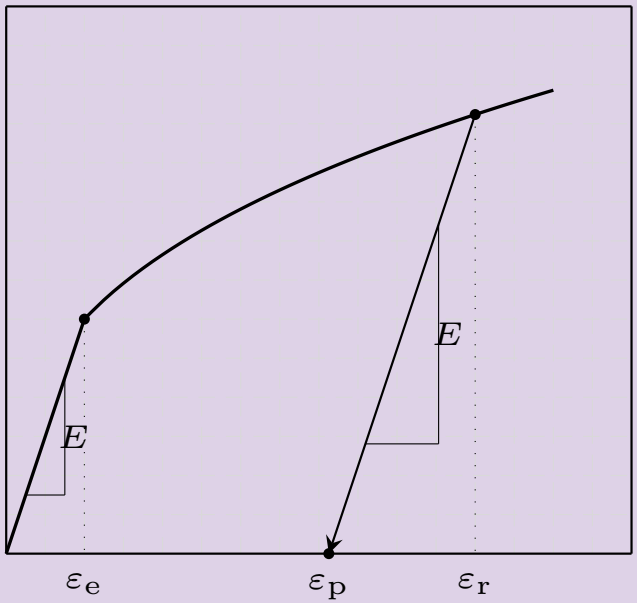
ε : *tx de déf. réel*

Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

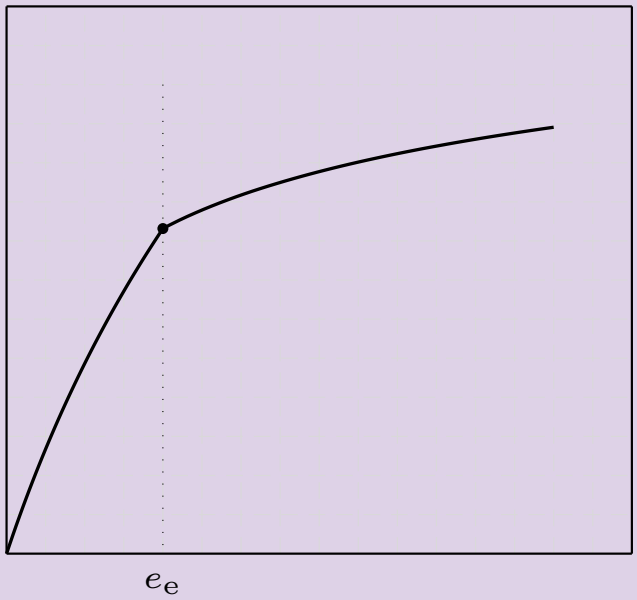
avec le taux nominal

σ : contrainte réelle, MPa



ε : tx de déf. réel

σ : contrainte réelle, MPa

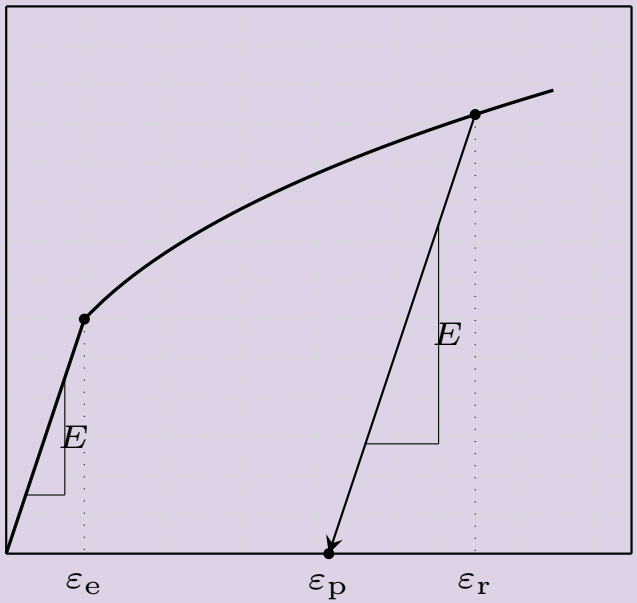


e : tx de déf. nominal

Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

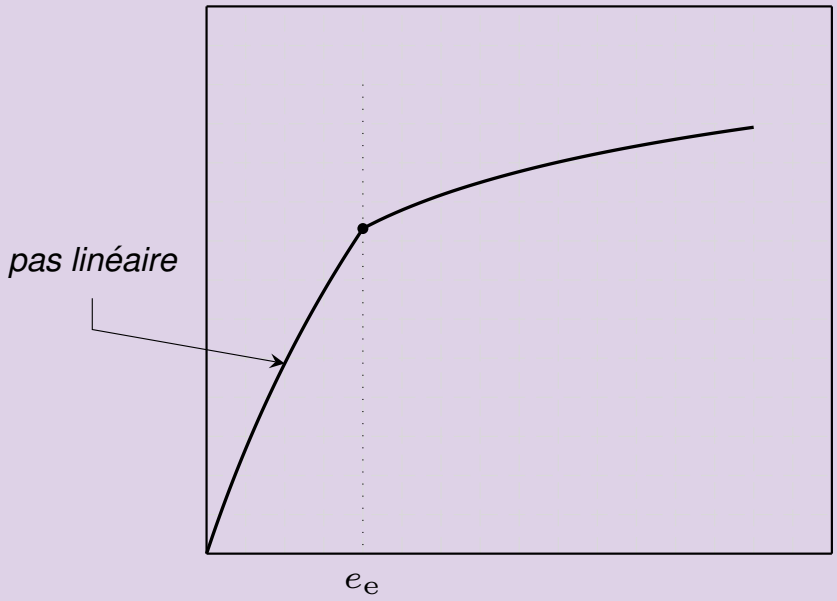
σ : contrainte réelle, MPa



ε : tx de déf. réel

avec le taux nominal

σ : contrainte réelle, MPa



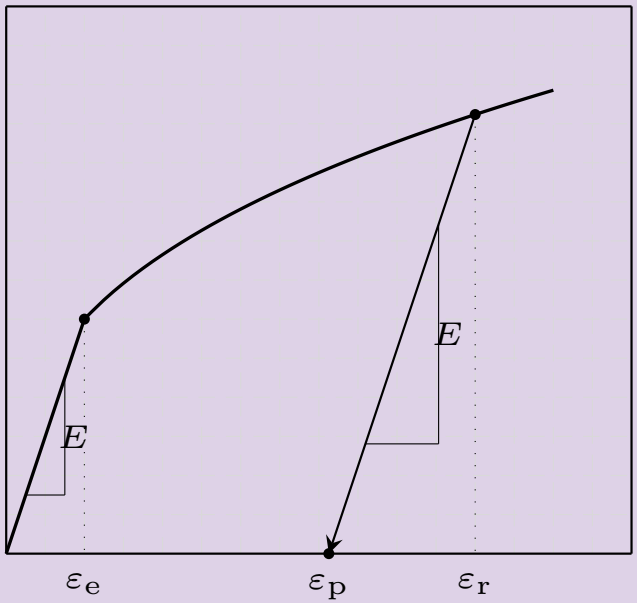
e : tx de déf. nominal

Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

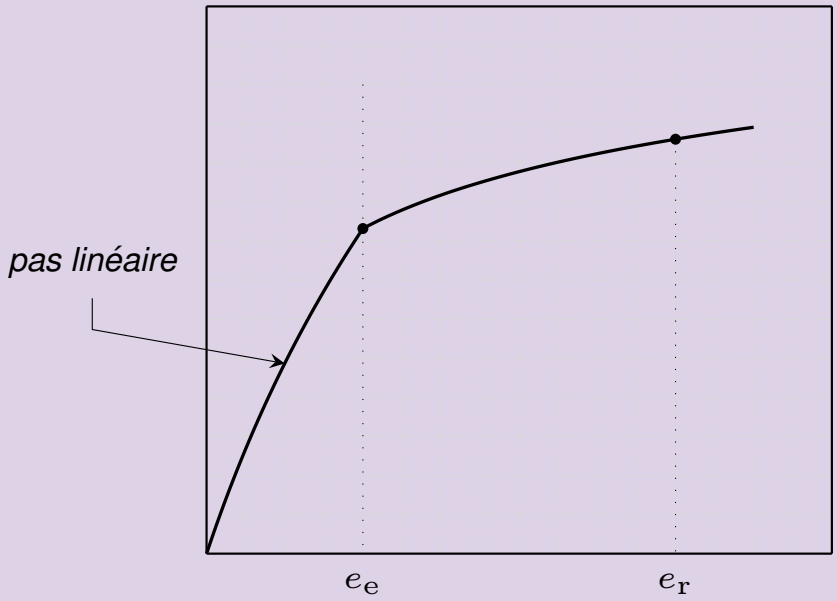
avec le taux nominal

σ : contrainte réelle, MPa



ε : tx de déf. réel

σ : contrainte réelle, MPa



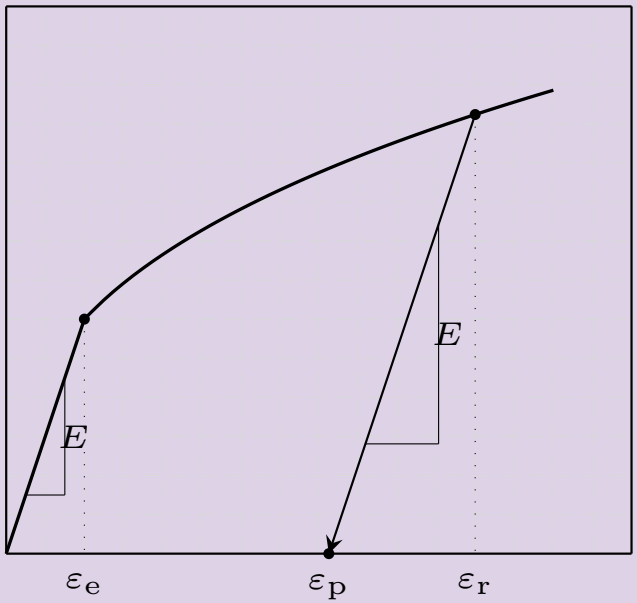
e : tx de déf. nominal

Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

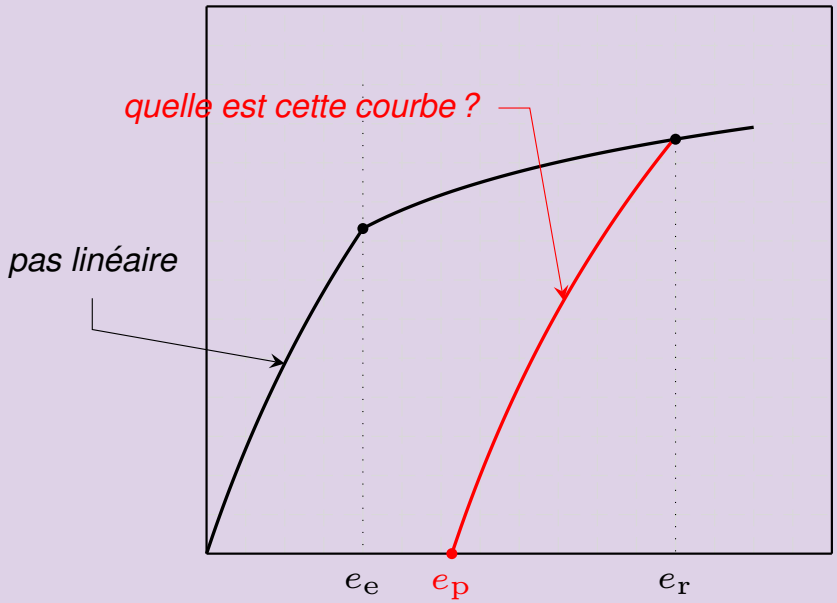
avec le taux nominal

σ : *contrainte réelle, MPa*



ε : *tx de déf. réel*

σ : *contrainte réelle, MPa*



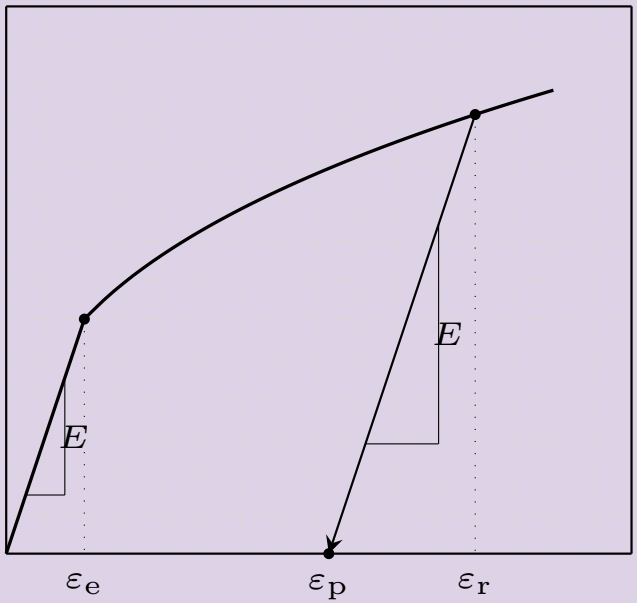
e : *tx de déf. nominal*

Rebond élastique en taux réel ou nominal

avec le taux réel

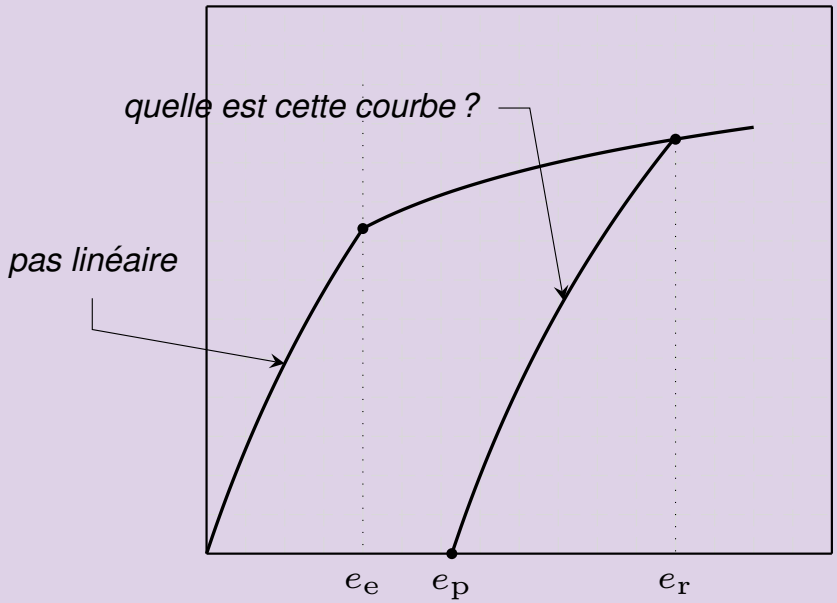
avec le taux nominal

σ : contrainte réelle, MPa



ε : tx de déf. réel

σ : contrainte réelle, MPa

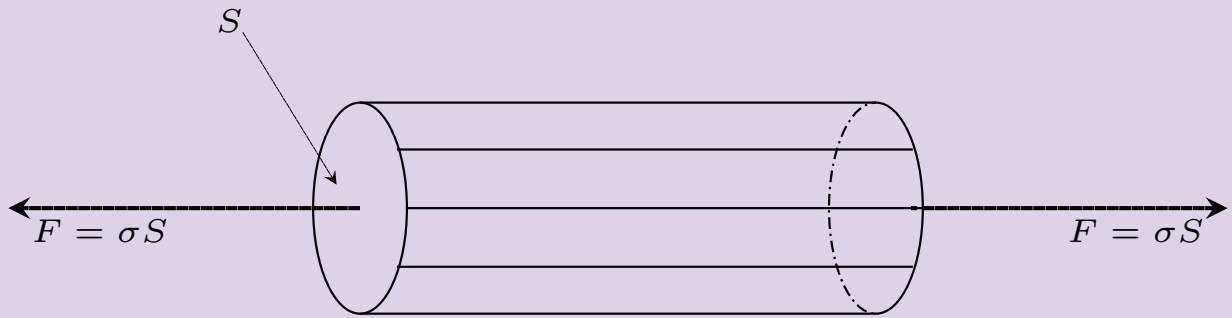


e : tx de déf. nominal

retour

Etat de contrainte local

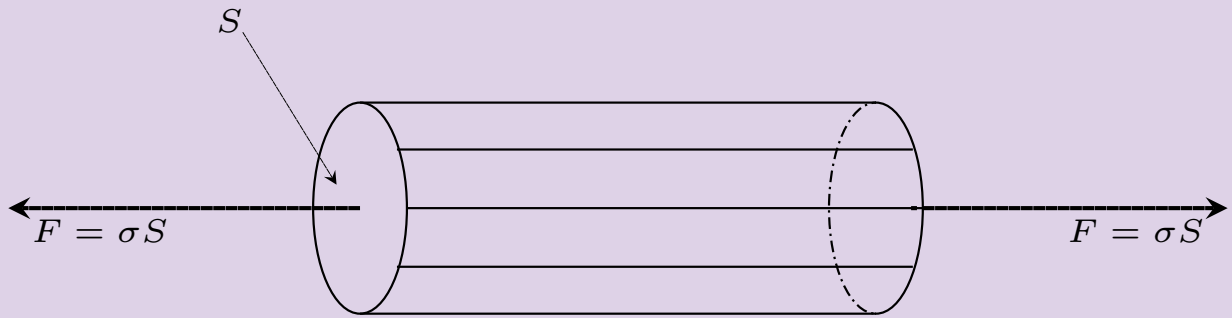
- *La contrainte de traction σ ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte σ se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.*



- *En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un* ***état de contrainte homogène*** *:*

Etat de contrainte local

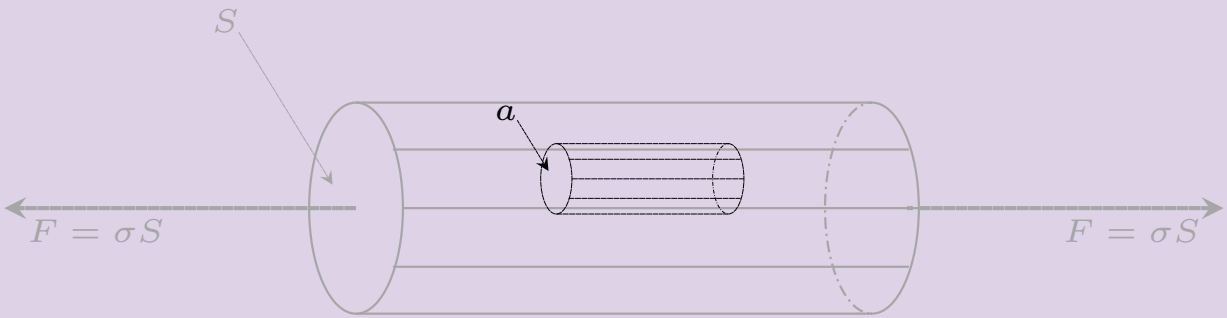
- *La contrainte de traction σ ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte σ se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.*



- *En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un* ***état de contrainte homogène*** *:*

Etat de contrainte local

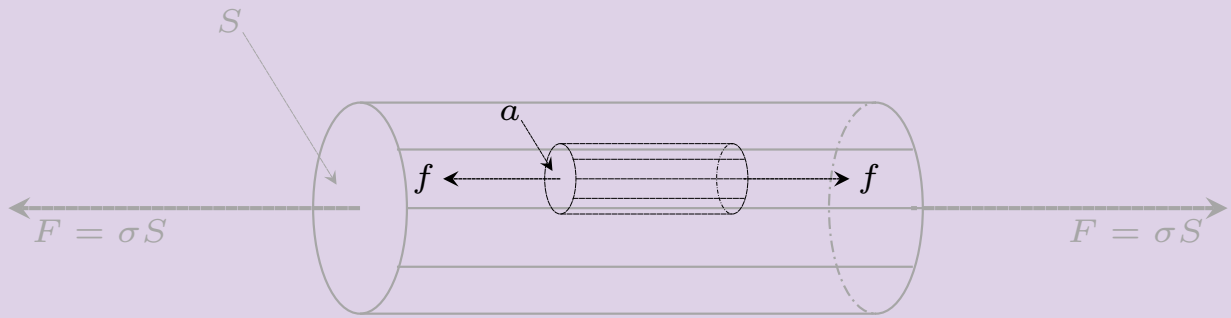
- *La contrainte de traction σ ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte σ se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.*



- *En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un* ***état de contrainte homogène*** *:*

Etat de contrainte local

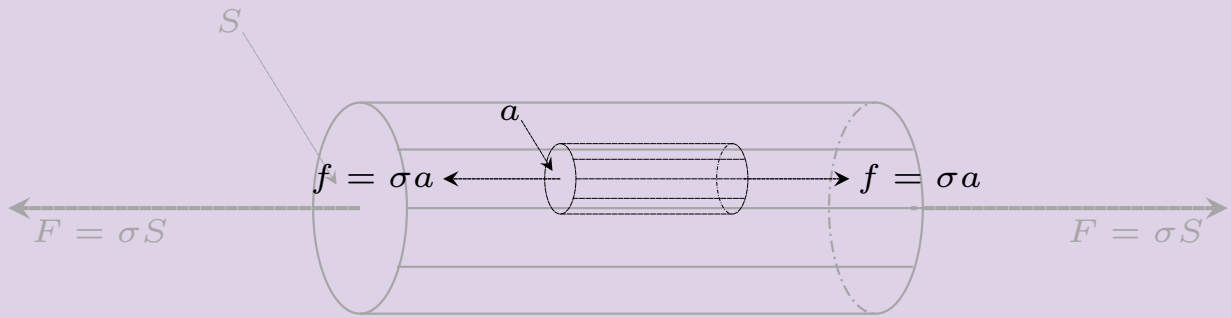
- *La contrainte de traction σ ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte σ se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.*



- *En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un* ***état de contrainte homogène*** *:*

Etat de contrainte local

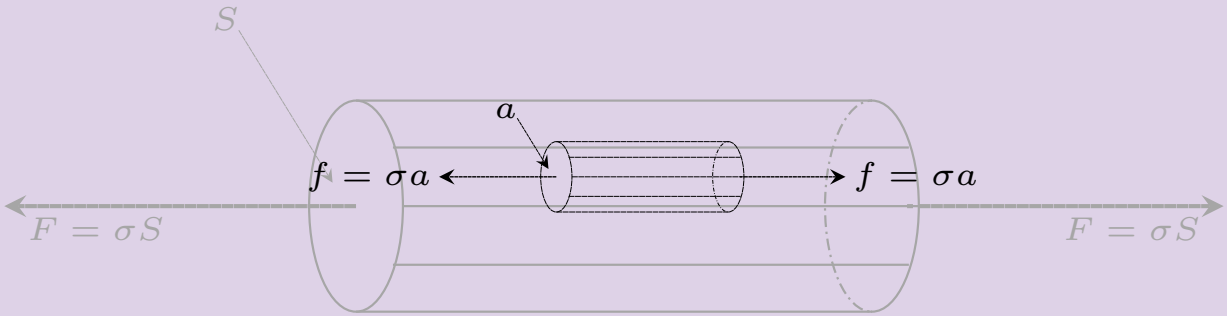
- *La contrainte de traction σ ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte σ se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. 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 σ*

Etat de contrainte local

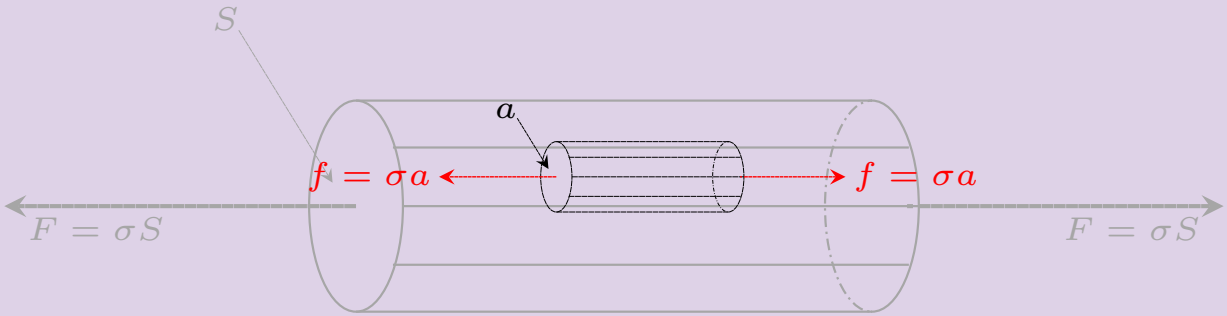
- *La contrainte de traction σ ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte σ se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. 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 σ. On peut donc mesurer σ à l'aide d'une jauge de contraintes.*

Etat de contrainte local

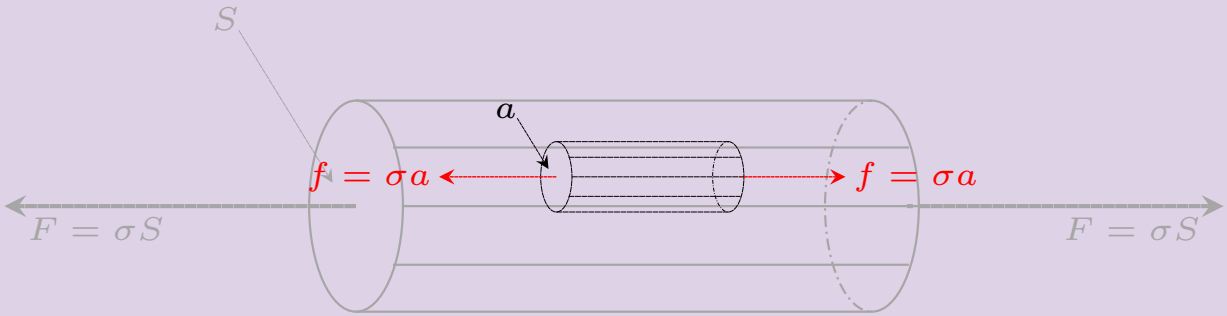
- *La contrainte de traction σ ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte σ se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. 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 σ. On peut donc mesurer σ à l'aide d'une* ***jauge de contraintes****.*

Etat de contrainte local

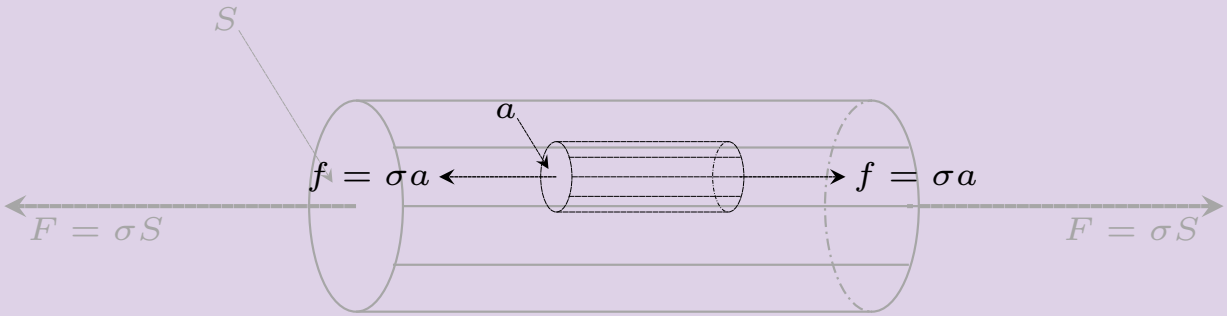
- *La contrainte de traction σ ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte σ se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. 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 σ. On peut donc mesurer σ à l'aide d'une **jauge de contraintes**.*

Etat de contrainte local

- *La contrainte de traction σ ne s'applique pas que sur les faces extrêmes de l'échantillon. L'équilibre mécanique de chaque portion d'échantillon implique que la contrainte σ se répercute sur chaque surface interne de l'échantillon perpendiculaire à l'axe de traction. Ce fait est illustré à la Fig. ci-dessous.*

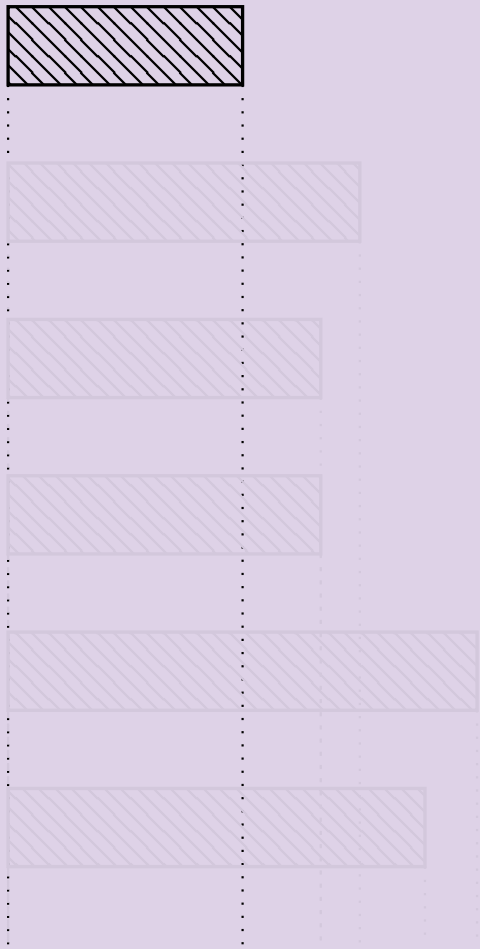


- *En cours d'une expérience de traction, l'échantillon est dans un **état de contrainte homogène** : une traction uniaxiale dont l'amplitude est égale à la contrainte réelle σ. On peut donc mesurer σ à l'aide d'une **jauge de contraintes**.*

retour

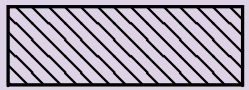
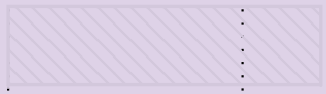
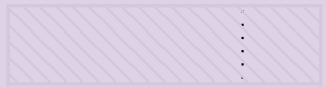
Cycles d'étirage et de recuit

- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{ère}$ *trac.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{ère}$ *relax.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{ème}$ *trac.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{ème}$ *relax.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

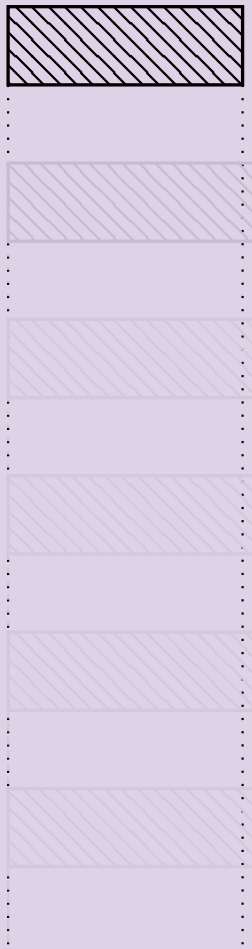
Cycles d'étirage et de recuit

- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{ère}$ *trac.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{ère}$ *relax.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{ème}$ *trac.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{ème}$ *relax.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

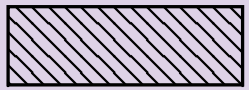
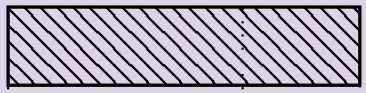
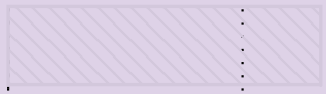
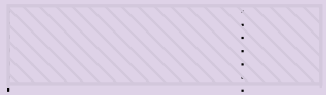
Cycles d'étirage et de recuit

- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
1ère trac.		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
1ère relax.		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1er tr. therm.		$\approx l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
2ème trac.		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
2ème relax.		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Cycles d'étirage et de recuit

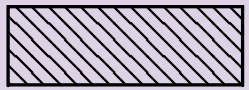
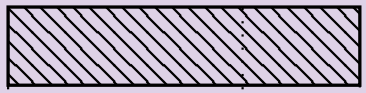
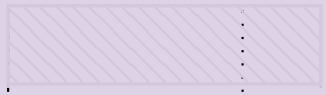
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{ère}$ *trac.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{ère}$ *relax.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{ème}$ *trac.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{ème}$ *relax.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

On effectue une traction jusqu'au maximum possible avant rupture !

Cycles d'étirage et de recuit

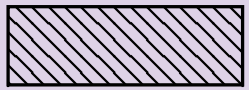
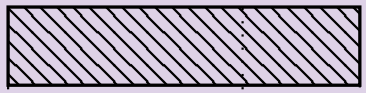
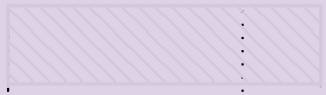
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathrm{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

On effectue une traction jusqu'au maximum possible avant rupture !

Cycles d'étirage et de recuit

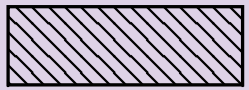
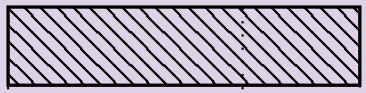
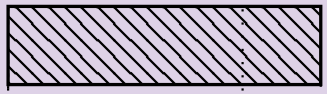
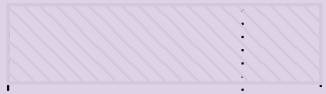
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

La longueur atteinte par l'échantillon est la suivant :

Cycles d'étirage et de recuit

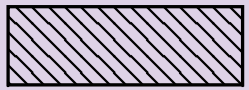
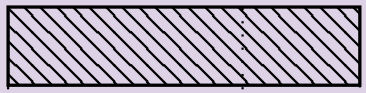
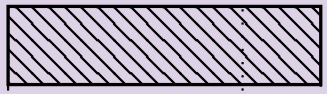
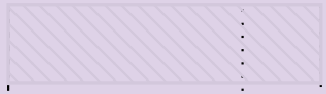
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

On décharge la barre.

Cycles d'étirage et de recuit

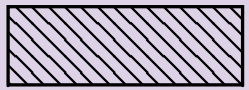
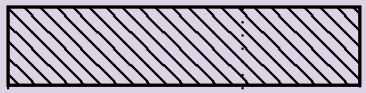
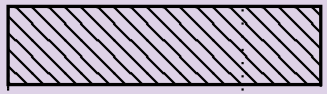
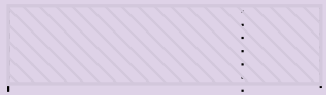
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Elle se retire, jusqu'à exhiber un certain taux de déformation

Cycles d'étirage et de recuit

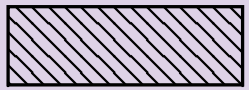
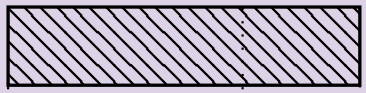
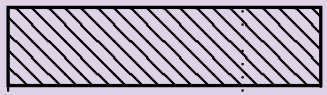
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Elle se retire, jusqu'à exhiber un certain taux de déformation

Cycles d'étirage et de recuit

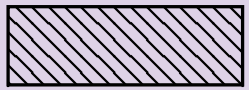
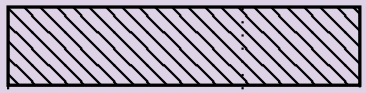
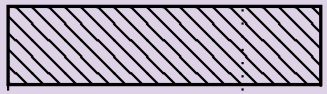
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

La longueur atteinte est donc :

Cycles d'étirage et de recuit

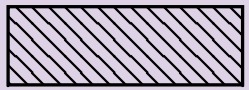
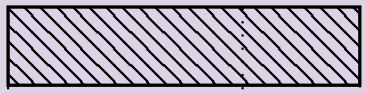
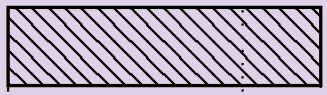
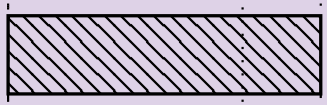
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Malheureusement la barre ne convient pas encore au client : elle est trop courte !

Cycles d'étirage et de recuit

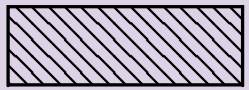
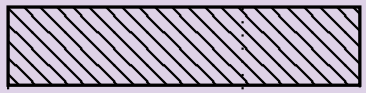
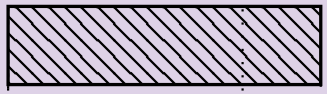
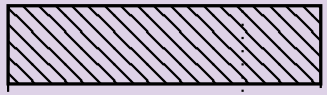
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

On applique donc un traitement thermique à la barre traitée.

Cycles d'étirage et de recuit

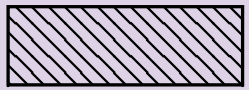
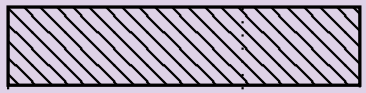
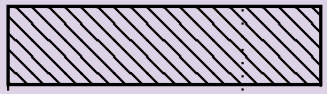
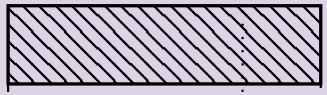
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Le traitement thermique en question est un recuit d'adoucissement.

Cycles d'étirage et de recuit

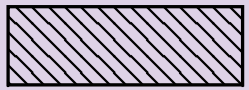
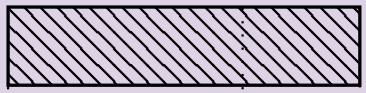
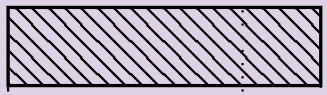
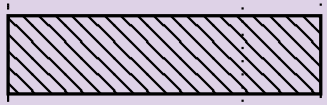
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Il ne modifie pas la longueur de l'échantillon. Mais il élimine l'écrouissage (retour à la densité de dislocations minimale).

Cycles d'étirage et de recuit

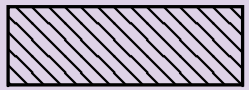
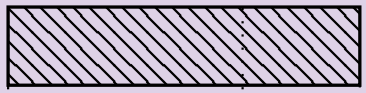
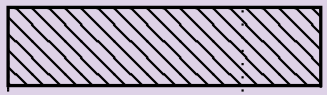
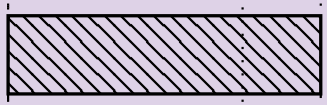
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Il ne modifie pas la longueur de l'échantillon. Mais il élimine l'écrouissage (retour à la densité de dislocations minimale).

Cycles d'étirage et de recuit

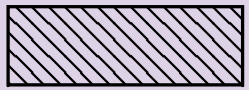
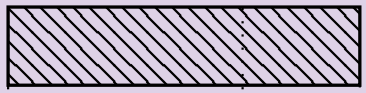
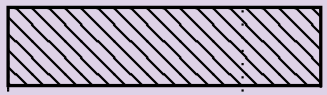
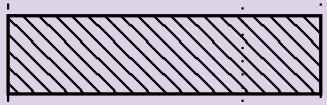
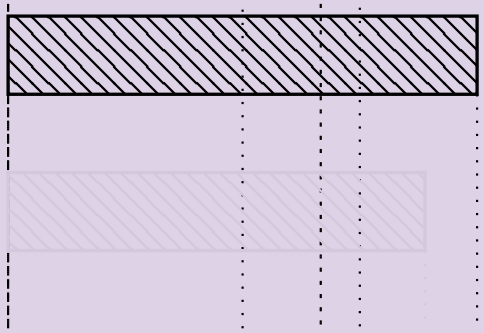
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Il ne modifie pas la longueur de l'échantillon. Mais il élimine l'écrouissage (retour à la densité de dislocations minimale).

Cycles d'étirage et de recuit

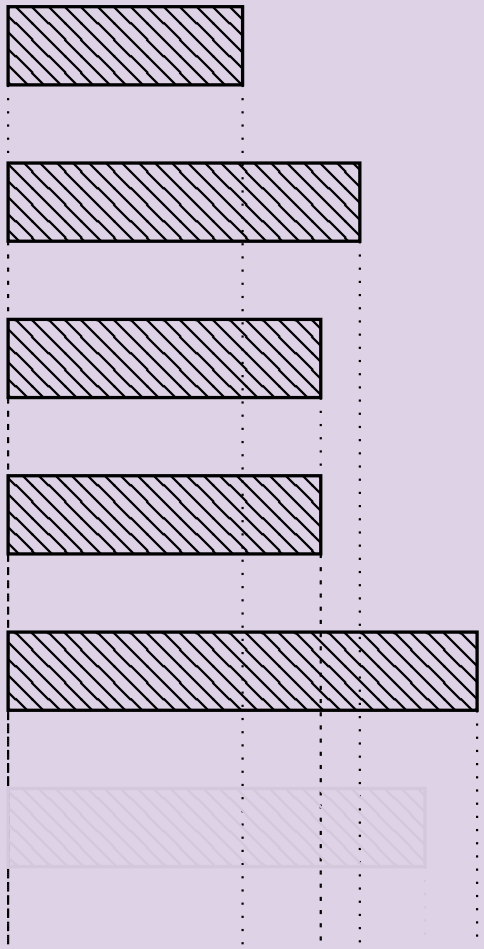
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Comme l'échantillon t.t. est non écroui, on peut à nouveau l'amener à une déf. de taux $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$ sans rupture

Cycles d'étirage et de recuit

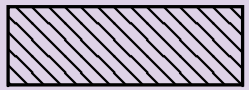
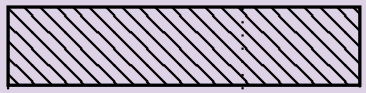
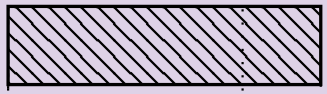
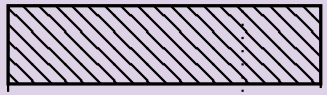
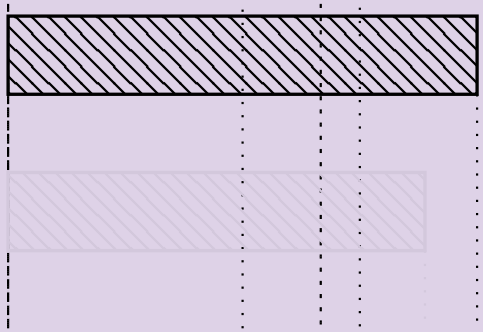
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Comme l'échantillon t.t. est non écroui, on peut à nouveau l'amener à une déf. de taux $\varepsilon_{\mathrm{ult}}$ sans rupture

Cycles d'étirage et de recuit

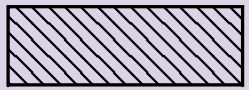
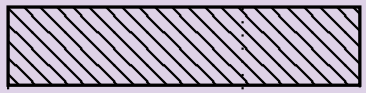
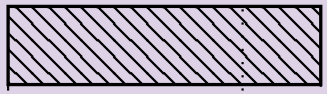
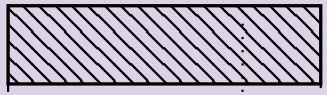
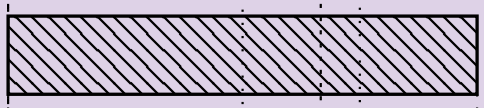
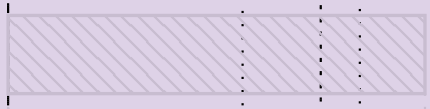
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

La deuxième traction a sur la longueur le même effet muliplicatif que la première

Cycles d'étirage et de recuit

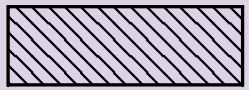
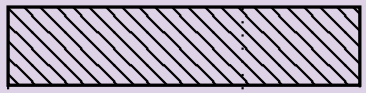
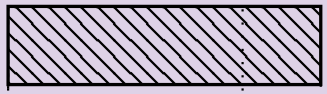
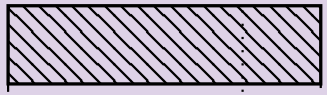
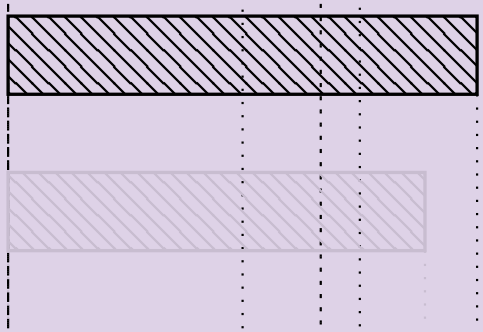
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Le produit de deux exponentielles est l'exponentielle de la somme des exposants

Cycles d'étirage et de recuit

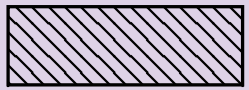
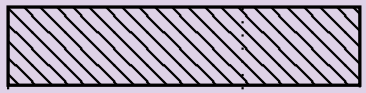
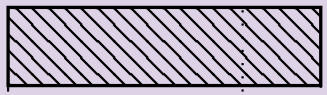
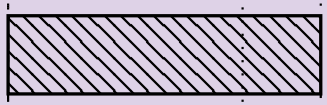
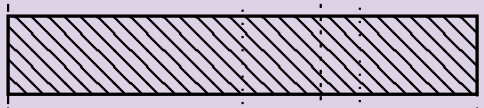
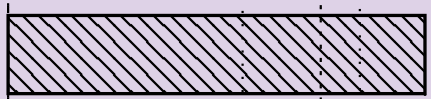
- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$*, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Le produit de deux exponentielles est l'exponentielle de la somme des exposants

Cycles d'étirage et de recuit

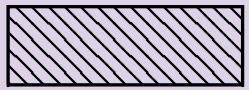
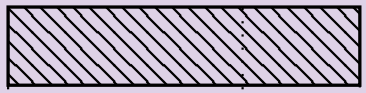
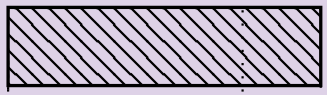
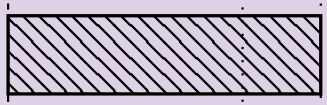
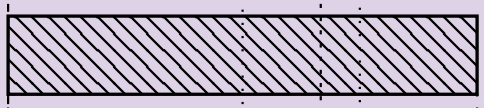
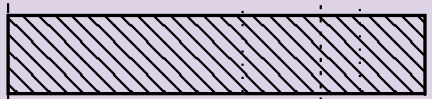
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

On décharge la barre.

Cycles d'étirage et de recuit

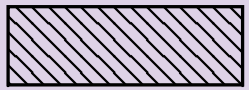
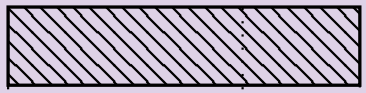
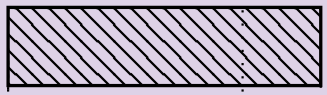
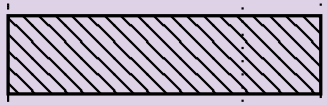
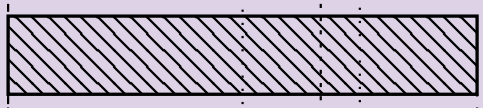
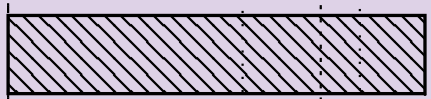
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Le rebond réduit la déformation : de la même quantité que précédement

Cycles d'étirage et de recuit

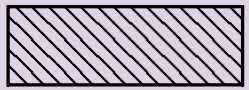
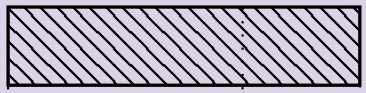
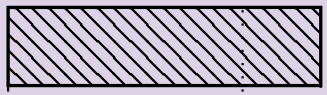
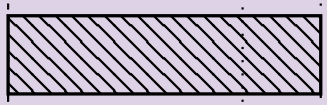
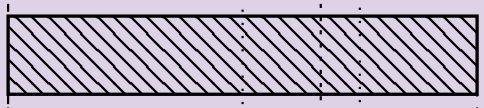
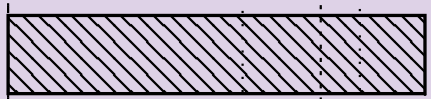
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Le produit de deux exponentielles est l'exponentielle de la somme des exposants

Cycles d'étirage et de recuit

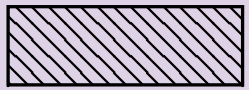
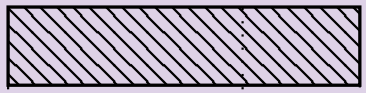
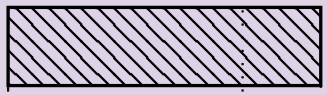
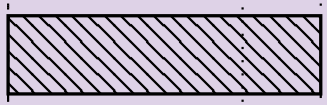
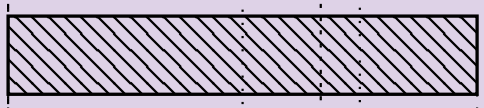
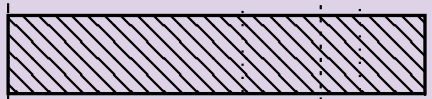
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Le produit de deux exponentielles est l'exponentielle de la somme des exposants

Cycles d'étirage et de recuit

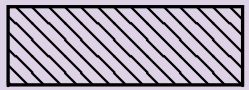
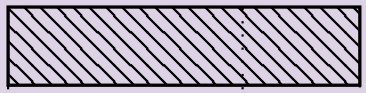
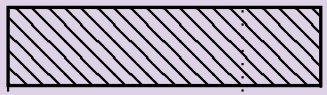
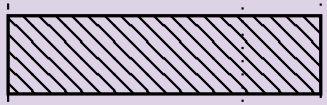
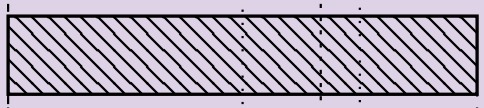
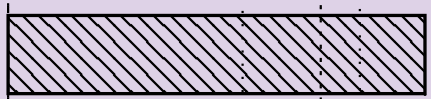
- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

Cette fois la barre est potentiellement assez longue, même trop longue. Si ce n'est pas le cas on réitère !

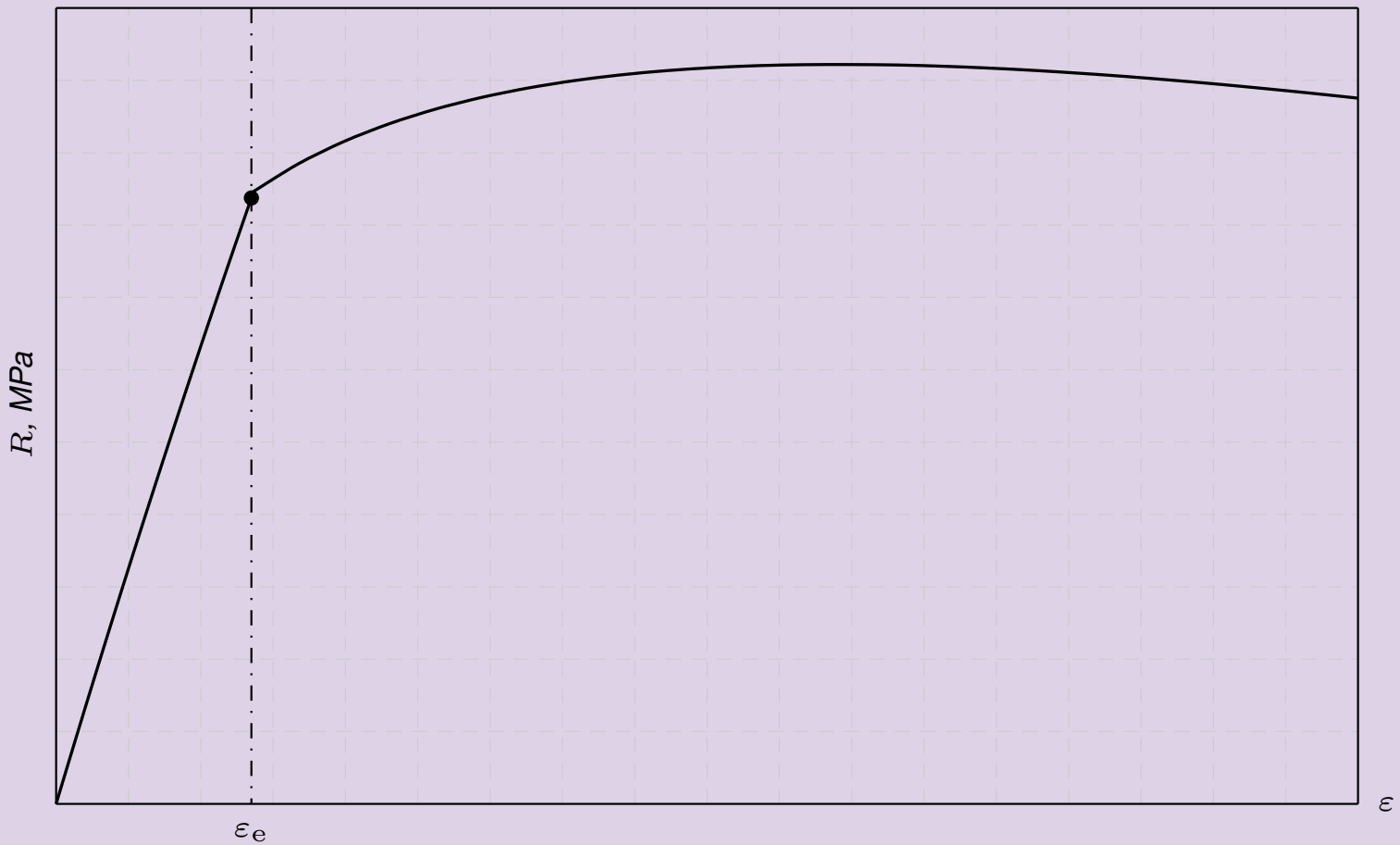
Cycles d'étirage et de recuit

- *Si $\varepsilon_{\mathrm{p}} > \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$, on itère les op. de formage en intercalant des recuits d'adoucissement.*

Etape	*Echantillon*	*Longueur*	*Taux de déf. réel*
départ		l_0	0
$1^{\text{ère}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$1^{\text{ère}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
1^{er} *tr. therm.*		$\approx l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$\approx \varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *trac.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{ult}}}$	$\varepsilon_{\mathrm{p;ult}} + \varepsilon_{\mathrm{ult}}$
$2^{\text{ème}}$ *relax.*		$l_0 \mathbf{e}^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}} e^{\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}}$	$2\varepsilon_{\mathrm{p;ult}}$

◂ retour

Courbe de traction pour un materiau fragile

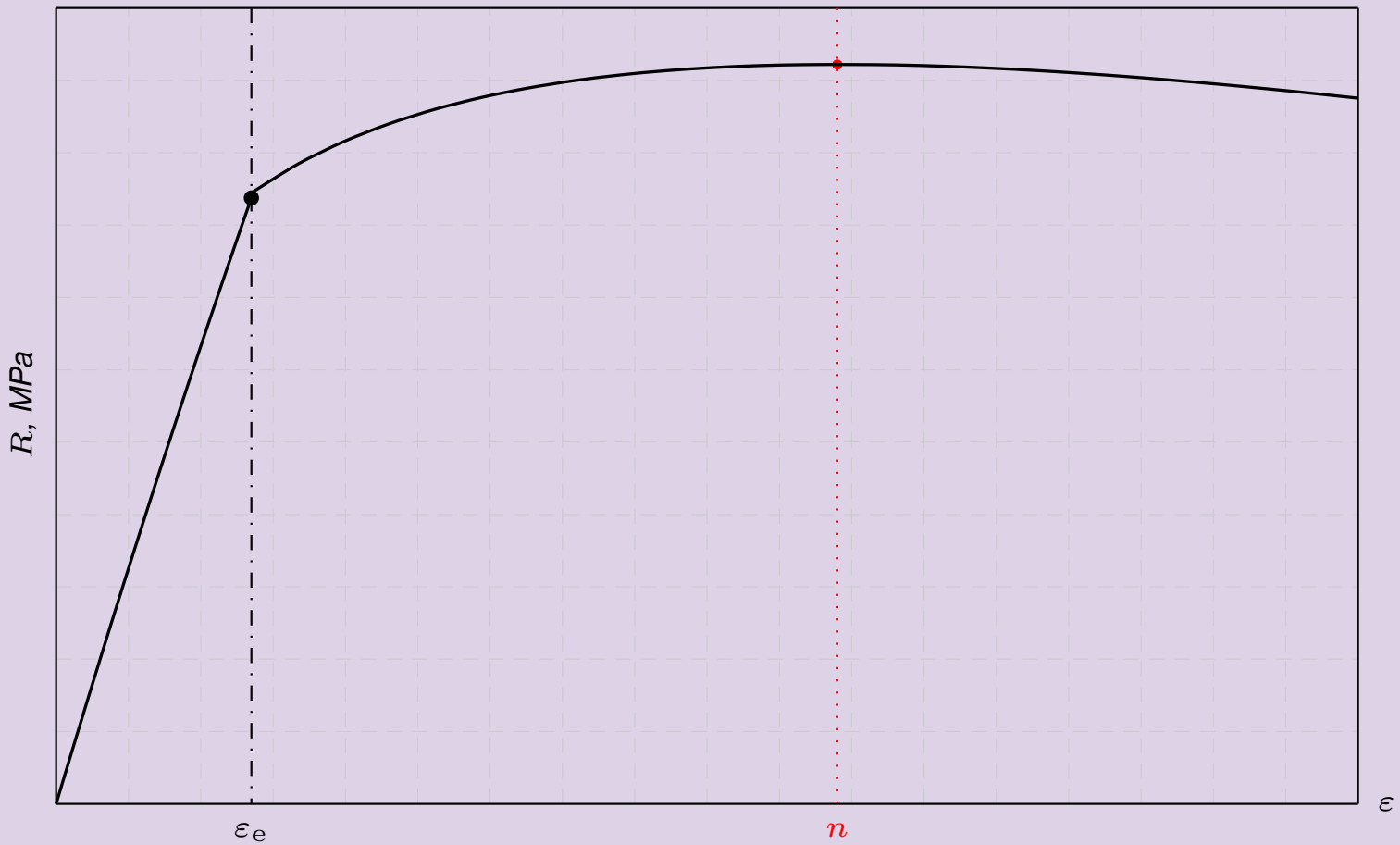


Voici une courbe de traction

Courbe de traction pour un materiau fragile

- *Si* $\varepsilon_{\text{ult}} < n$, *la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :*

$$\varepsilon_{\text{m}} = \varepsilon_{\text{ult}} \quad \text{et} \quad R_{\text{m}} = R_{\text{ult}}.$$

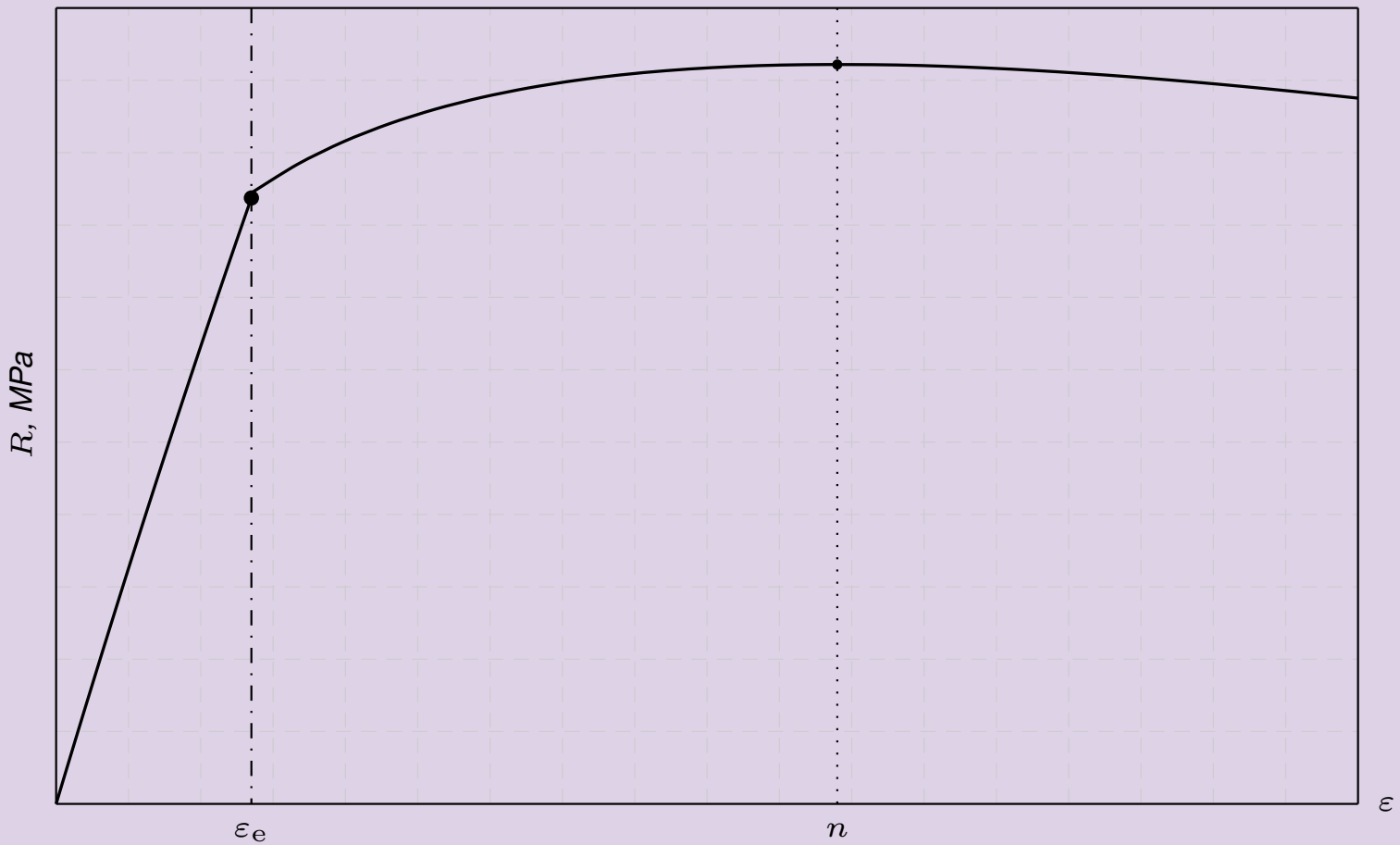


Observez que n est l'endroit où la contrainte nominale maximale se réalise

Courbe de traction pour un materiau fragile

- *Si* $\varepsilon_{\text{ult}} < n$, *la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :*

$$\varepsilon_{\text{m}} = \varepsilon_{\text{ult}} \quad \text{et} \quad R_{\text{m}} = R_{\text{ult}}.$$

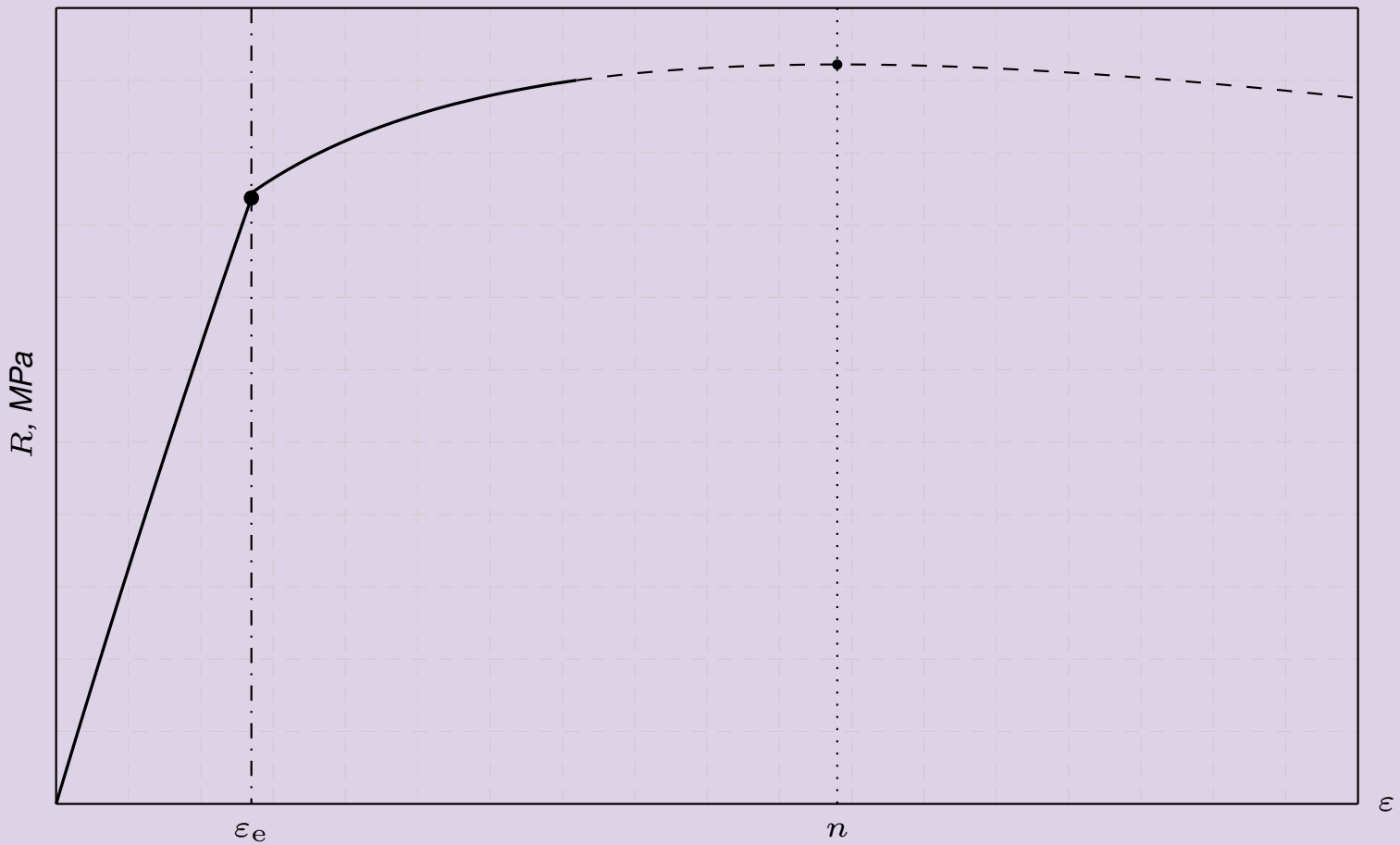


Mais comme le matériau est fragile, l'échantillon casse avant d'atteindre ce taux de déformation !

Courbe de traction pour un materiau fragile

- *Si* $\varepsilon_{\text{ult}} < n$, *la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :*

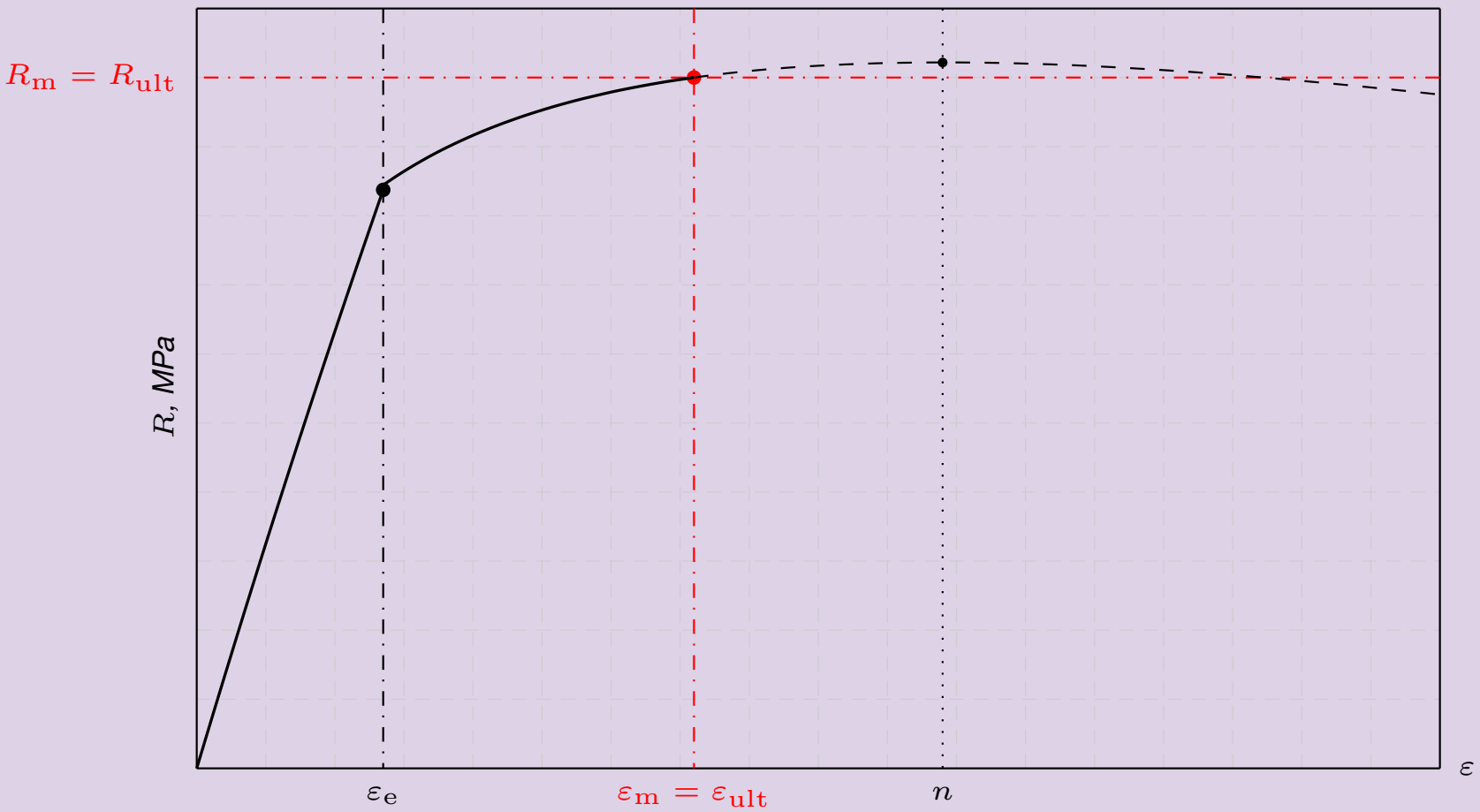
$$\varepsilon_{\text{m}} = \varepsilon_{\text{ult}} \quad \text{et} \quad R_{\text{m}} = R_{\text{ult}}.$$



Courbe de traction pour un materiau fragile

- *Si* $\varepsilon_{\text{ult}} < n$, *la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :*

$$\varepsilon_{\text{m}} = \varepsilon_{\text{ult}} \quad \textit{et} \quad R_{\text{m}} = R_{\text{ult}}.$$

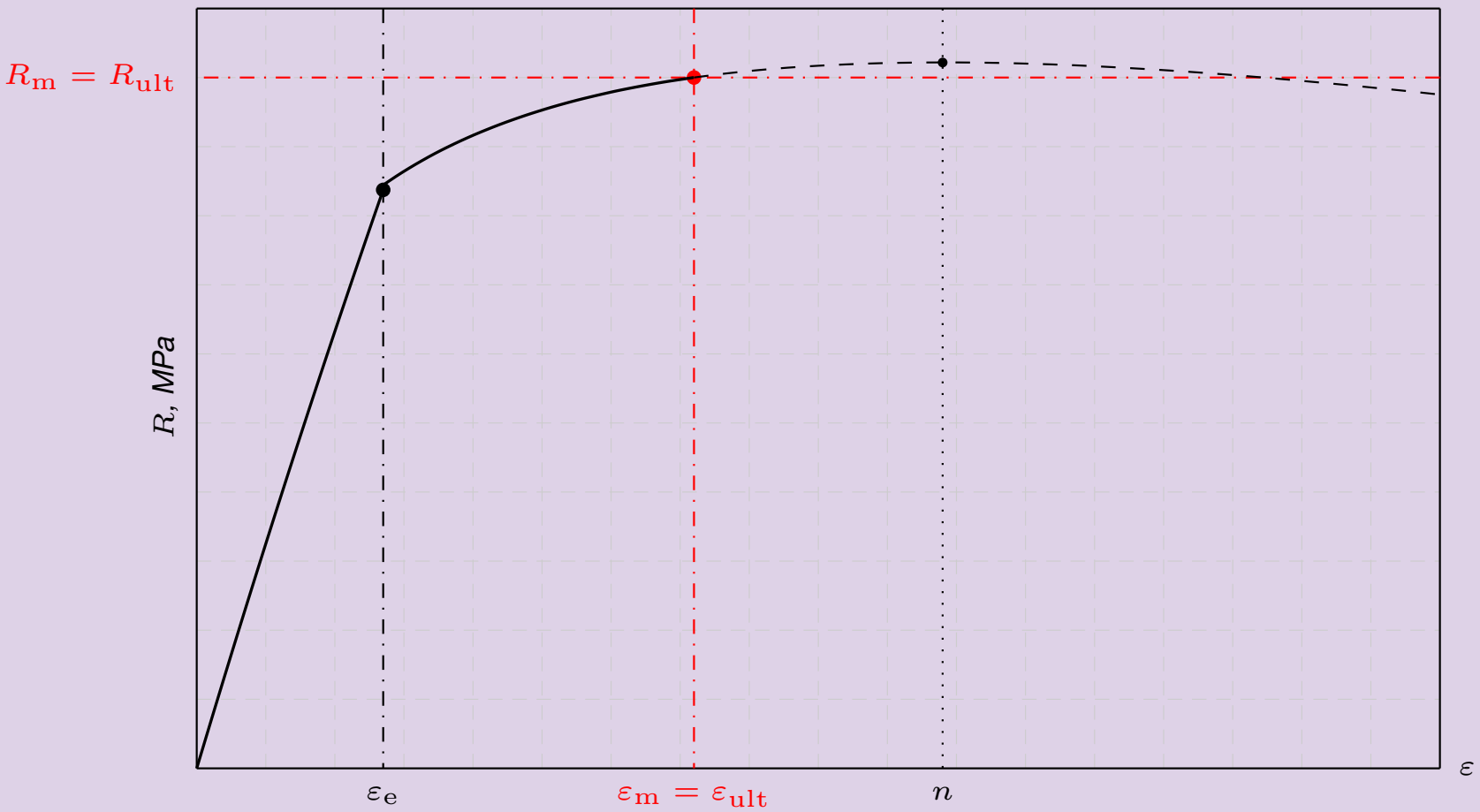


On observe que la contrainte réelle maximale est réalisée lorsque $\varepsilon = \varepsilon_{\text{ult}}$ et vaut R_{ult}

Courbe de traction pour un materiau fragile

- *Si* $\varepsilon_{\text{ult}} < n$, *la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :*

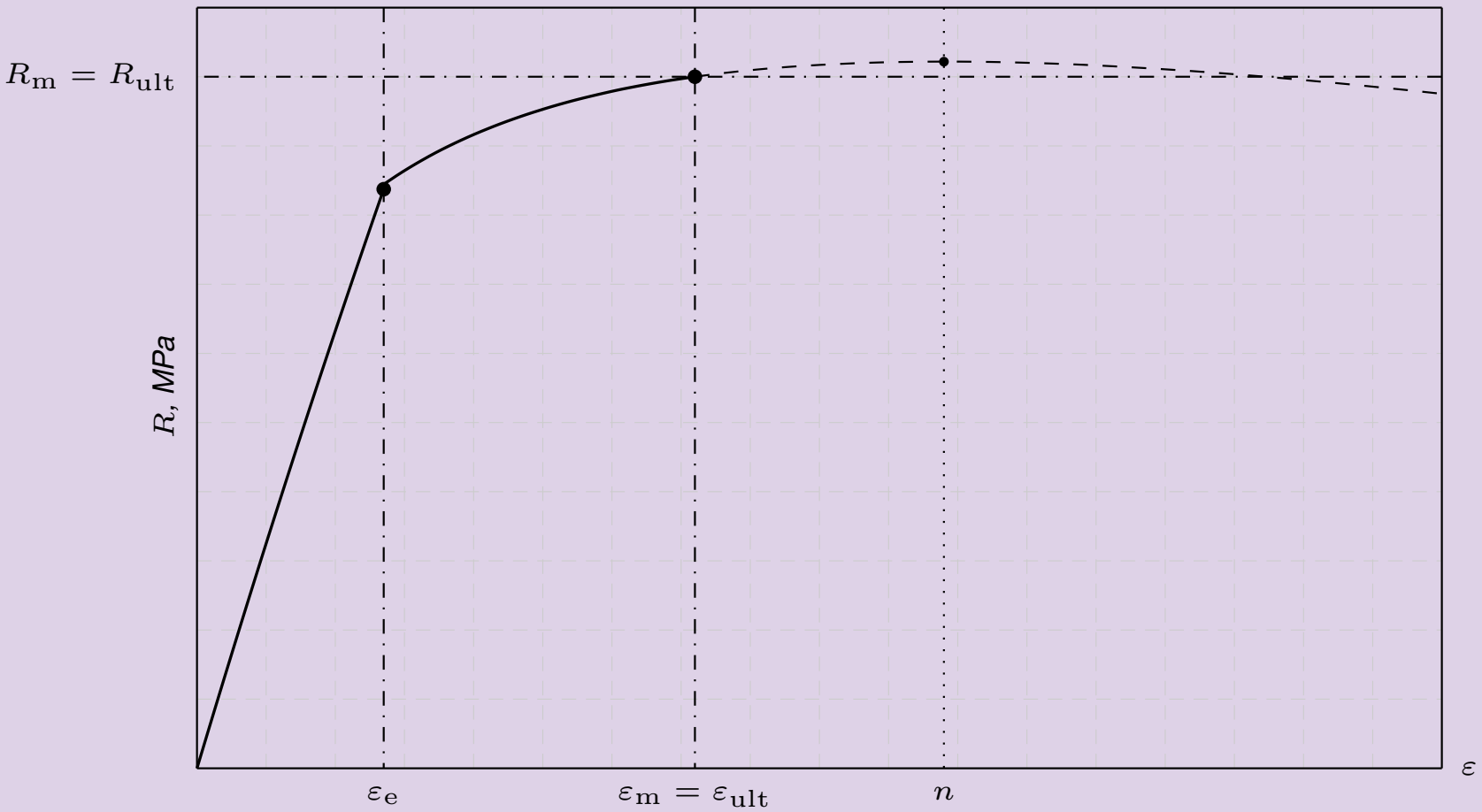
$$\varepsilon_{\text{m}} = \varepsilon_{\text{ult}} \quad \textit{et} \quad R_{\text{m}} = R_{\text{ult}}.$$



Courbe de traction pour un materiau fragile

- *Si* $\varepsilon_{\text{ult}} < n$, *la contrainte nominale maximale est réalisée à la rupture :*

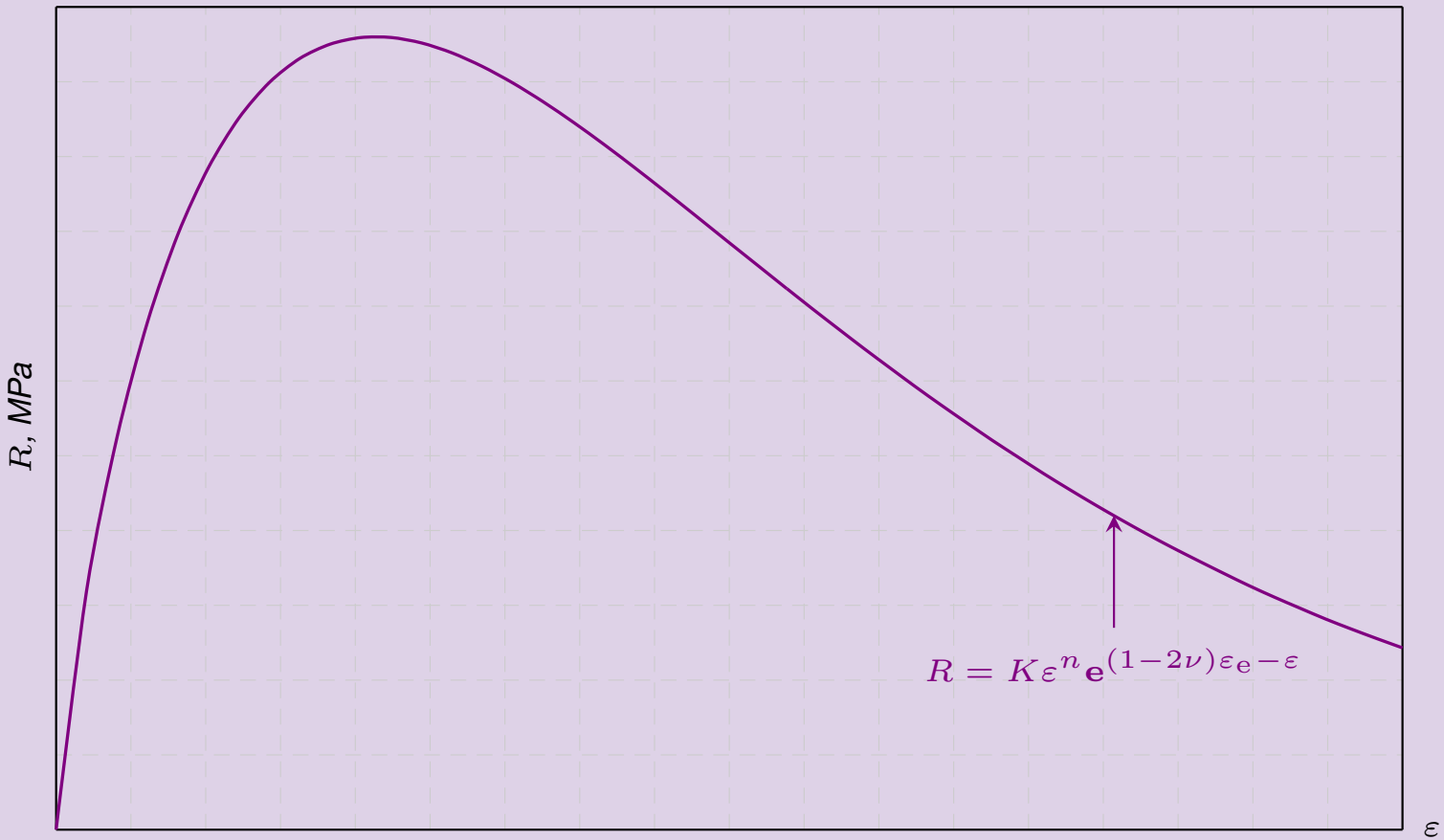
$$\varepsilon_{\text{m}} = \varepsilon_{\text{ult}} \quad \textit{et} \quad R_{\text{m}} = R_{\text{ult}}.$$



retour

Courbe de traction pour un matériau dur

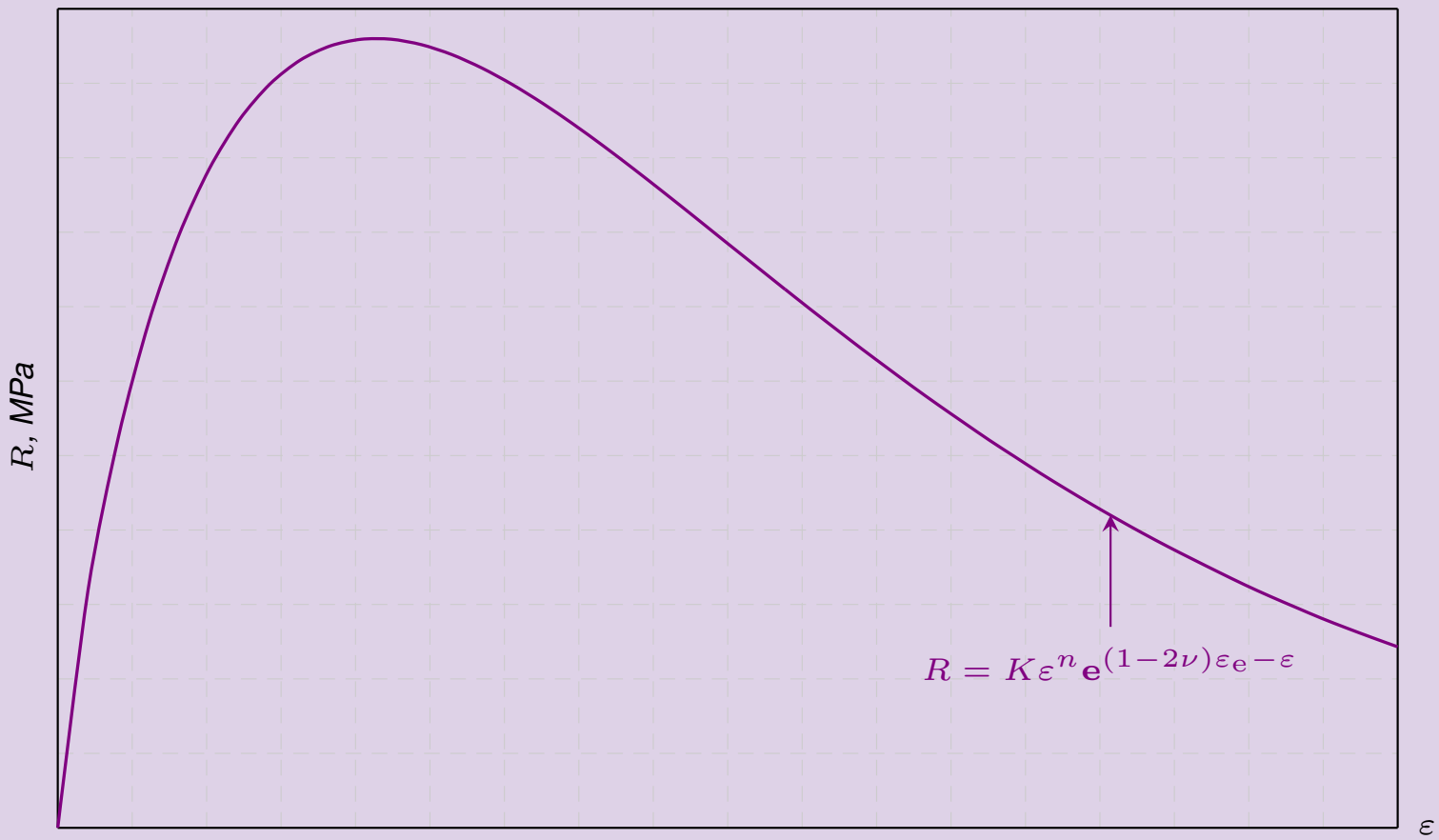
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Voici le graphe de la fonction $\varepsilon \to K\varepsilon^n \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$, qui représente R en zone plastique

Courbe de traction pour un matériau dur

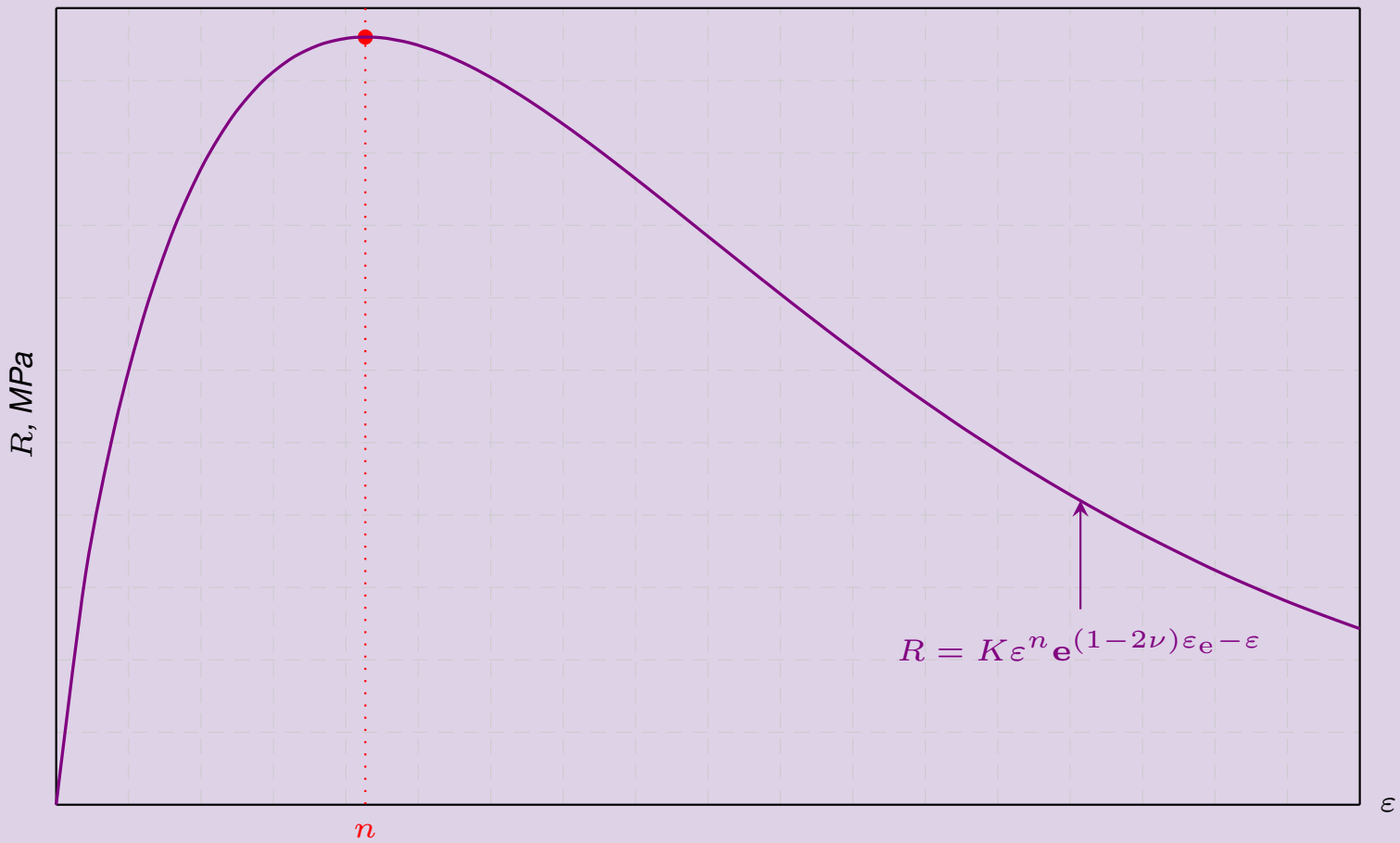
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Le nombre n est un abscisse particulier, lequel ?

Courbe de traction pour un matériau dur

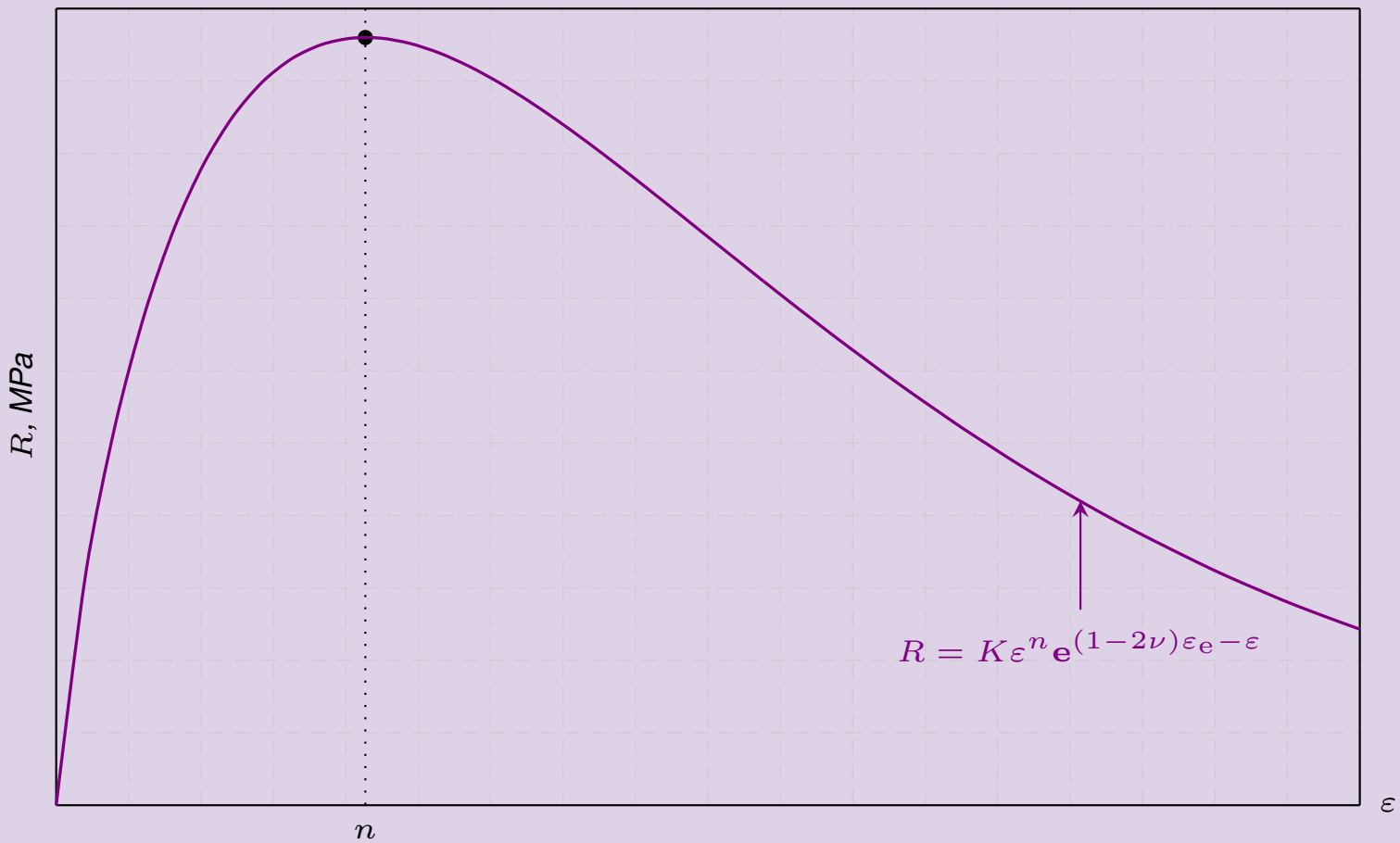
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



On sait que n est l'abscisse en lequel la fonction $\varepsilon \to R = K\varepsilon^n \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ réalise son maximum

Courbe de traction pour un matériau dur

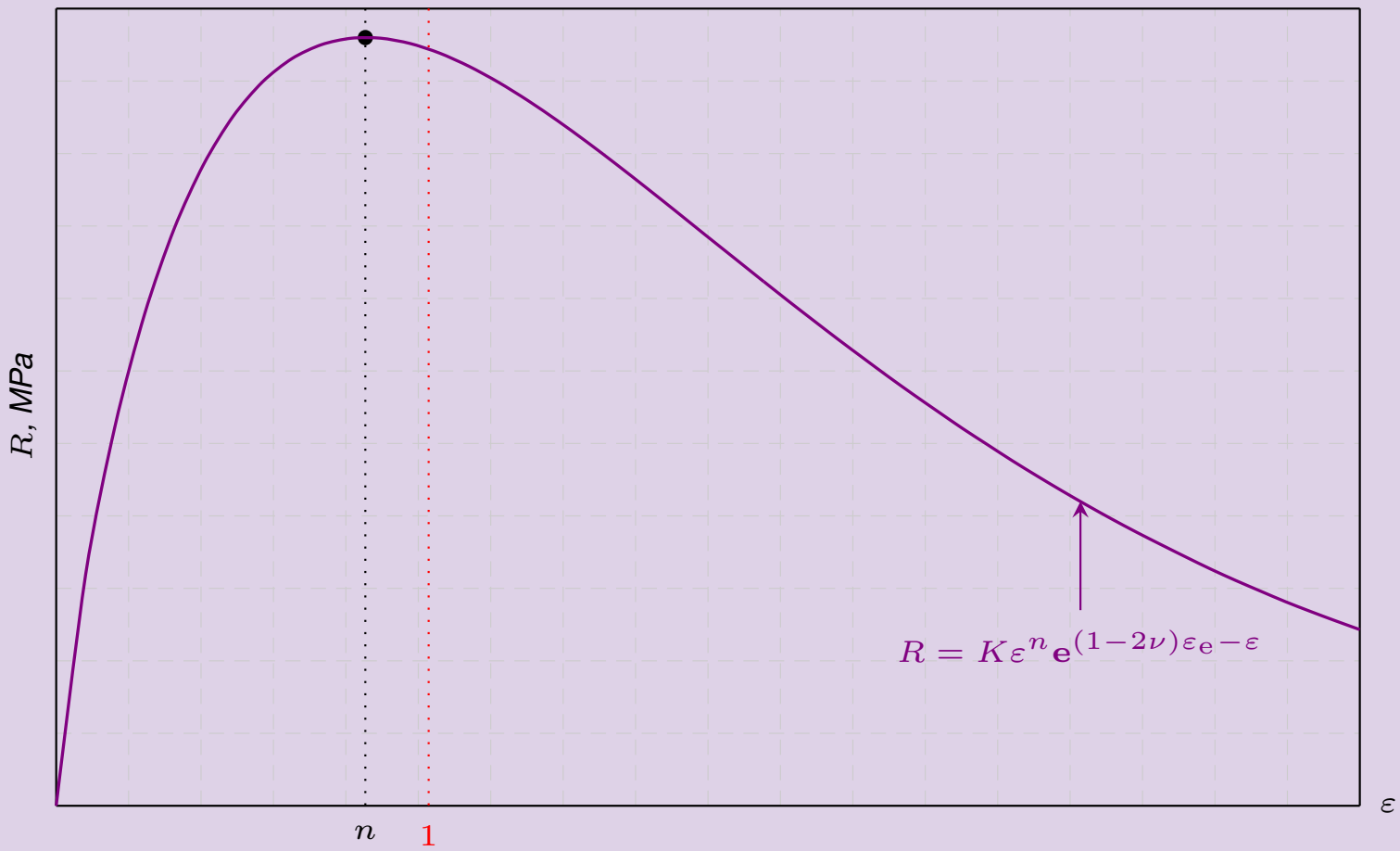
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Plaçons maintenant 1 sur l'axe horizontal

Courbe de traction pour un matériau dur

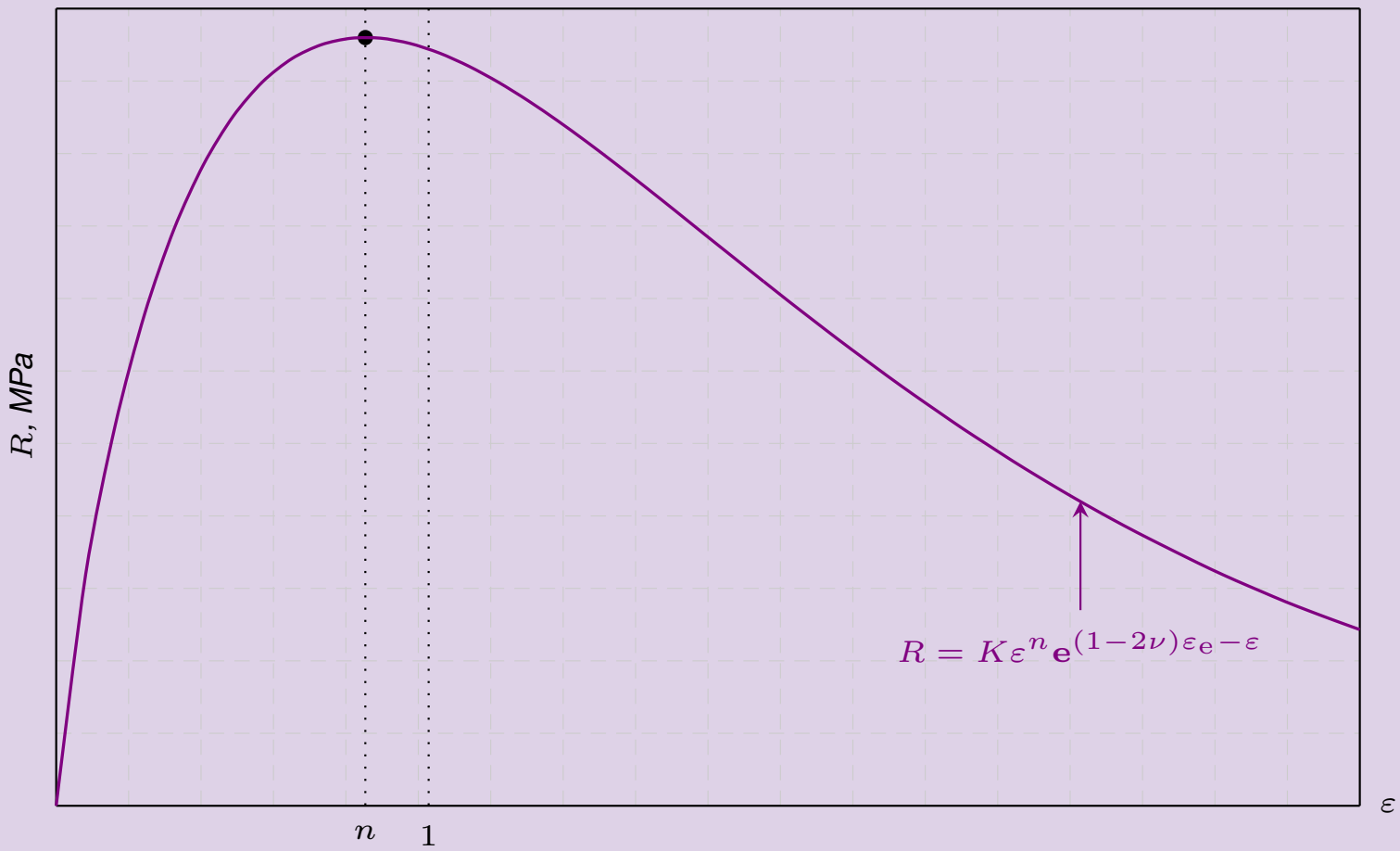
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Puisque $n < 1$, 1 se trouve à la droite de n

Courbe de traction pour un matériau dur

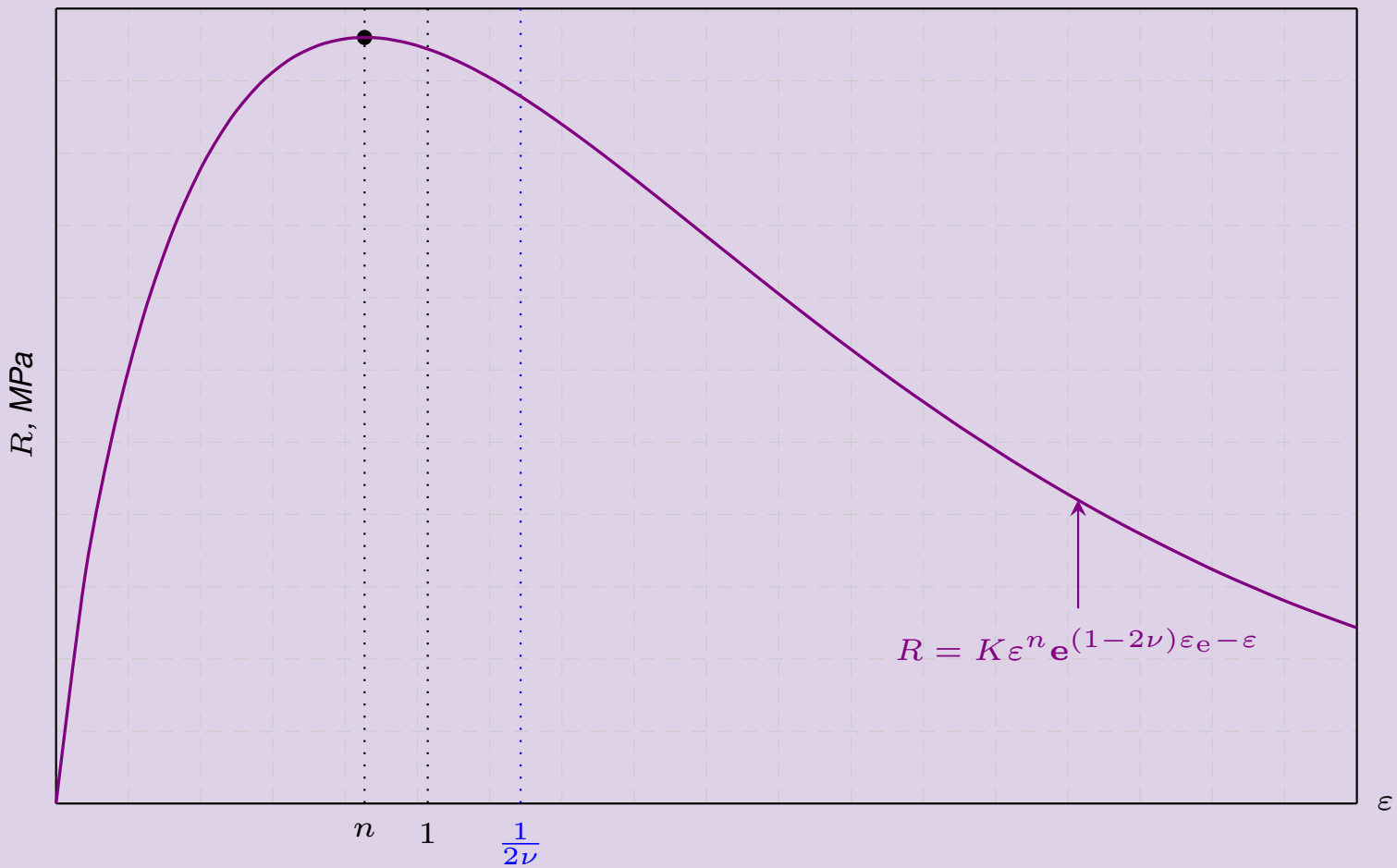
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Plaçons maintenant $\frac{1}{2\nu}$ sur l'axe horizontal

Courbe de traction pour un matériau dur

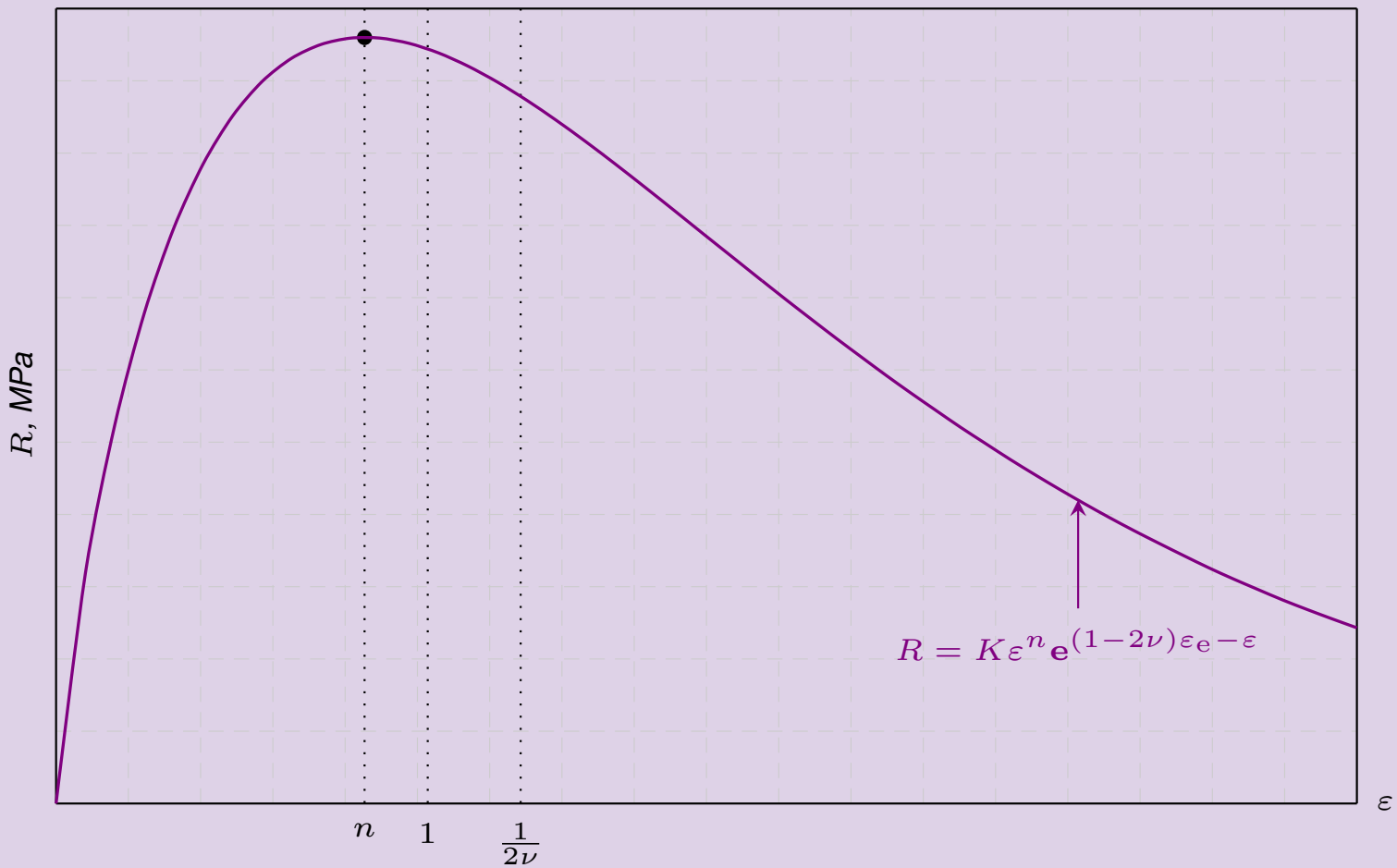
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



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 matériau dur

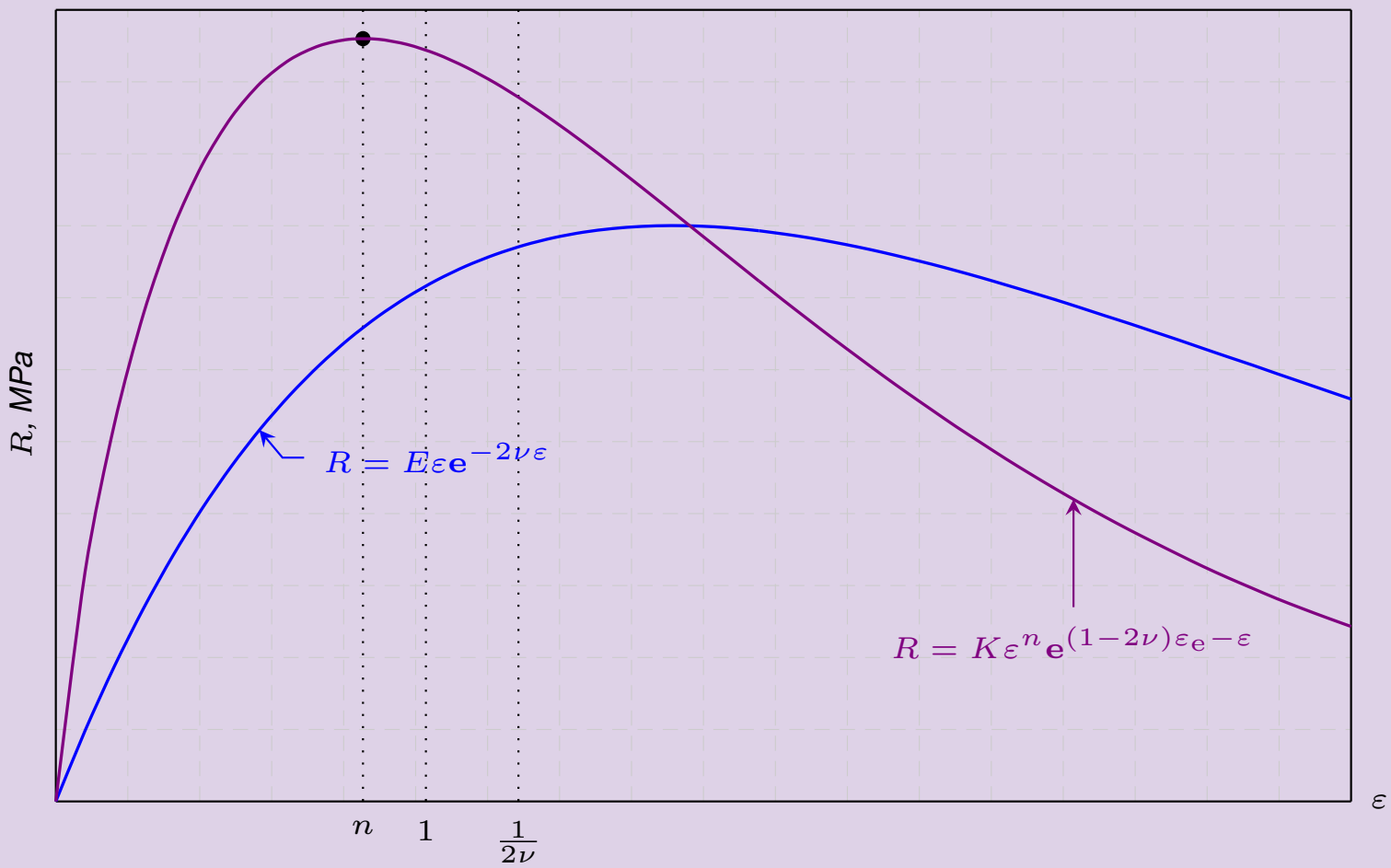
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Dessinons en bleu le graphe de la fonction $\varepsilon \to R = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$, qui représente R en zone élastique

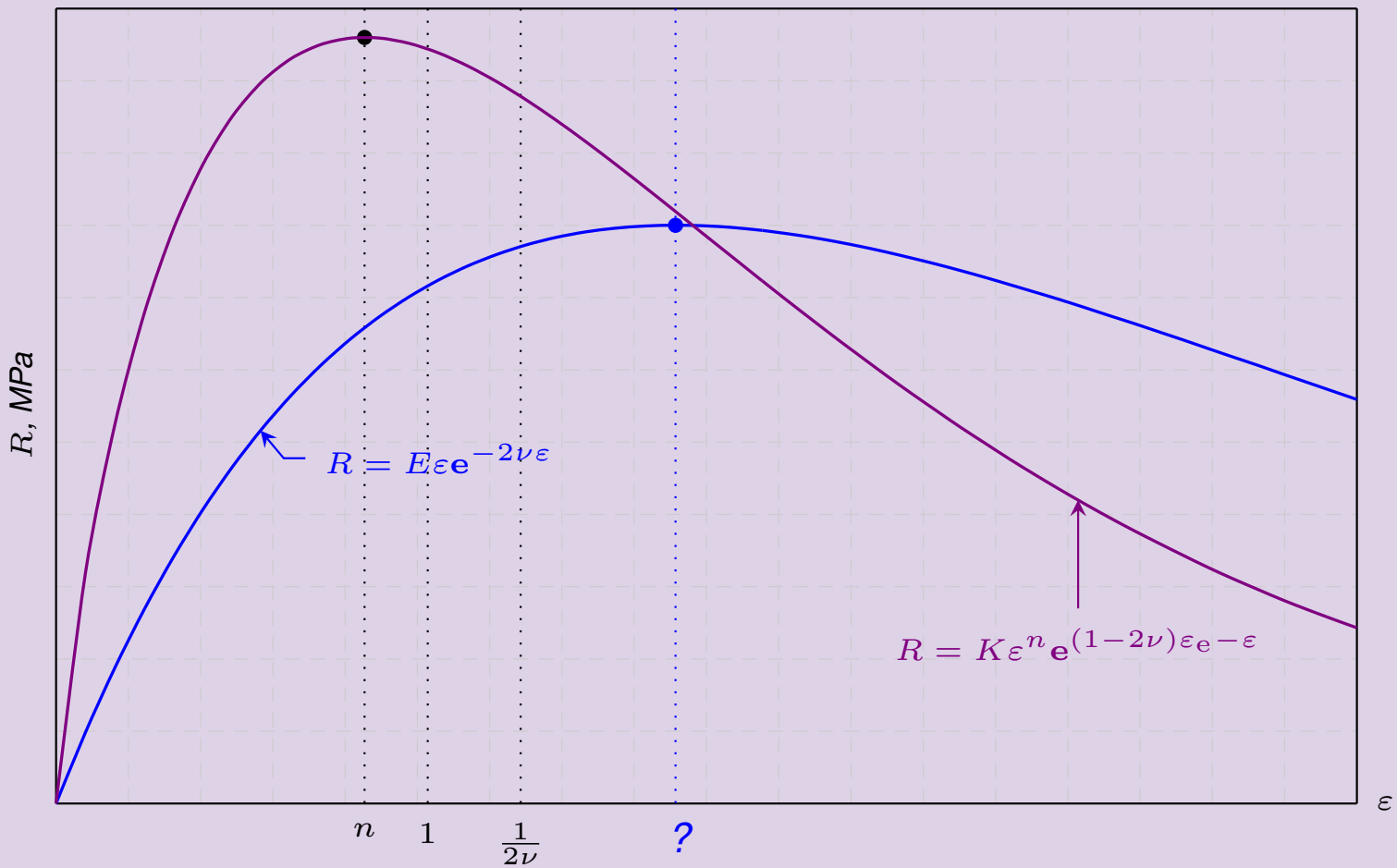
Courbe de traction pour un matériau dur

- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Courbe de traction pour un matériau dur

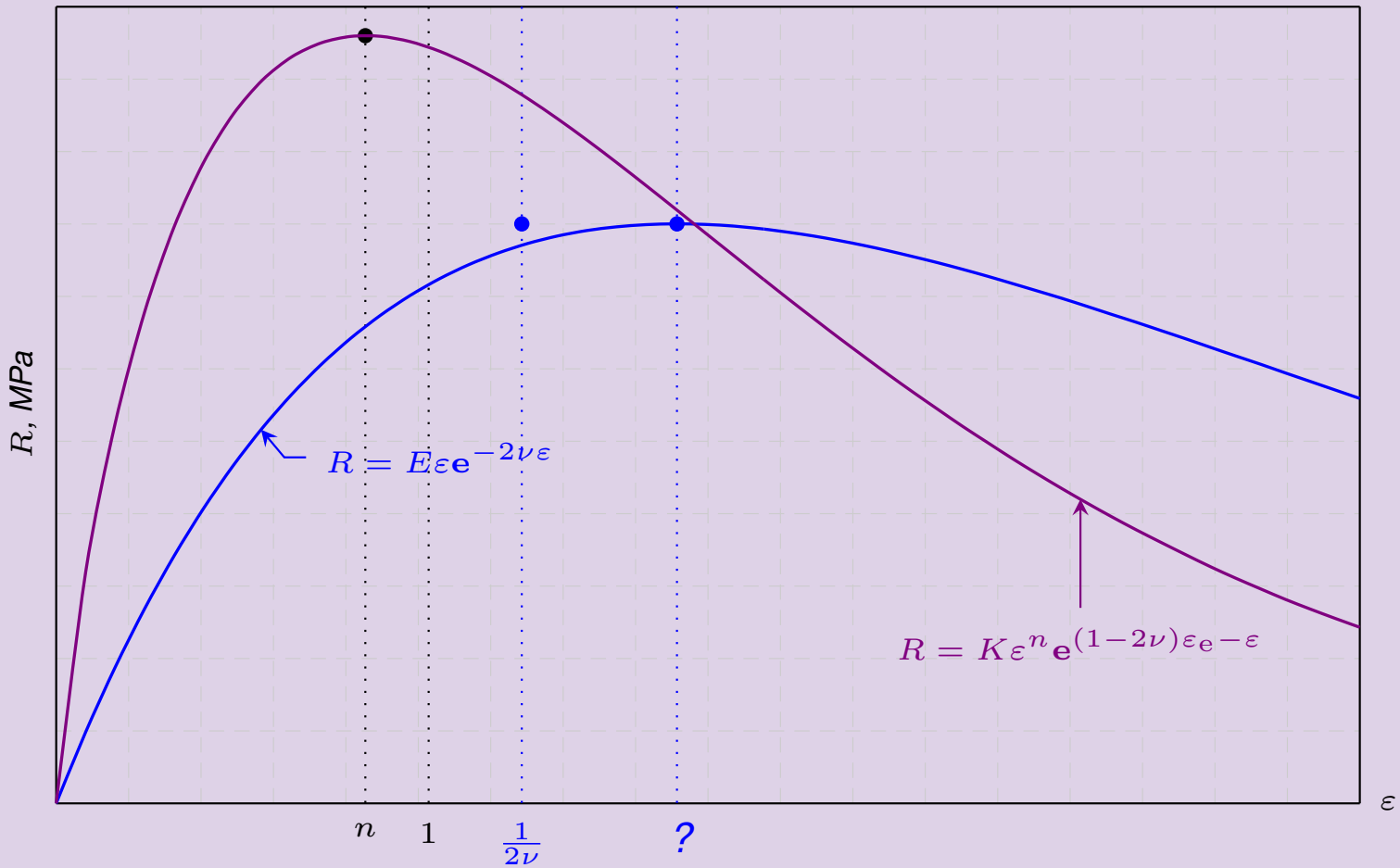
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Où la fonction $\varepsilon \to R = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}$ atteint-elle son maximum et que vaut-il ?

Courbe de traction pour un matériau dur

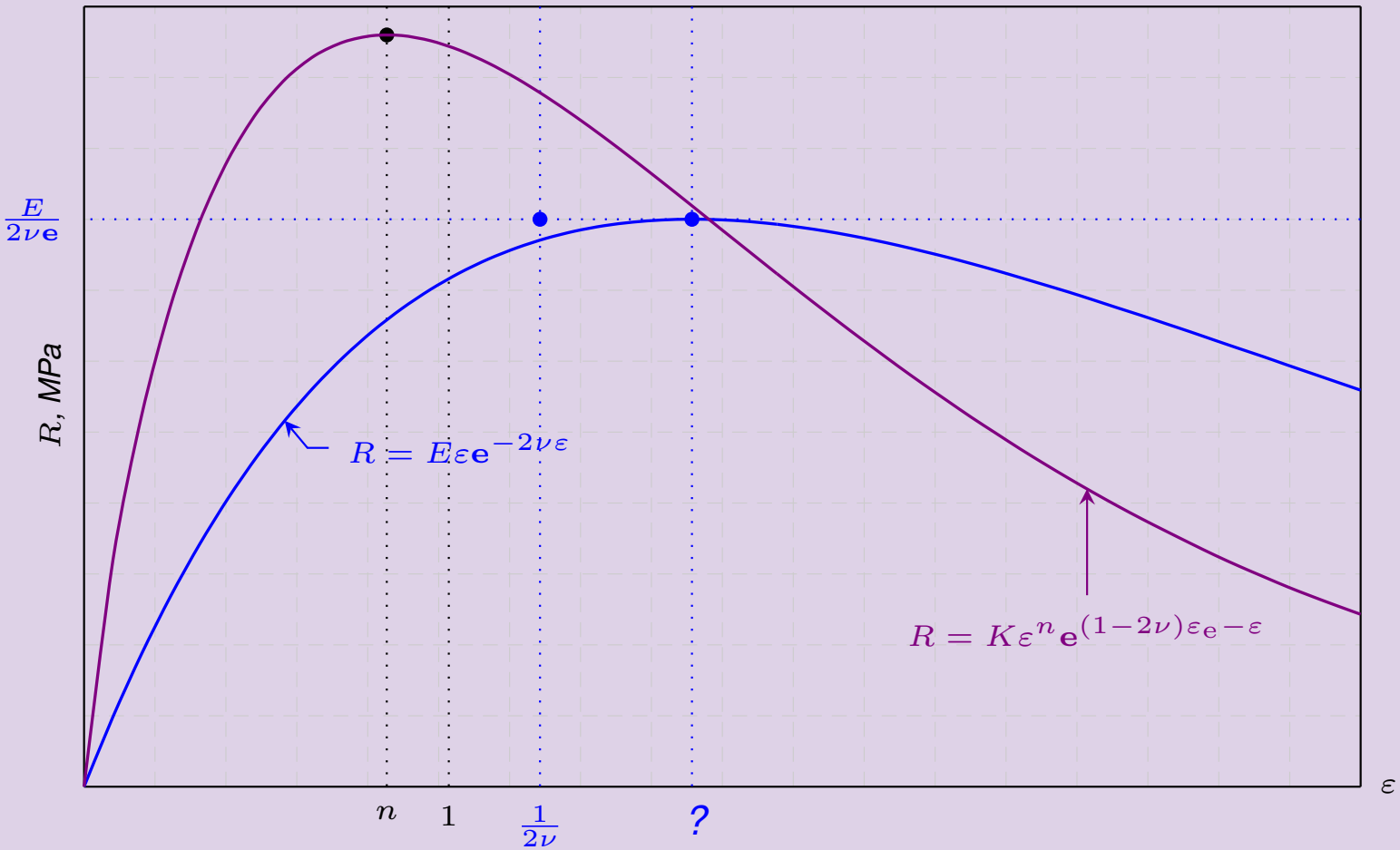
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



On peut vérifier que le maximum de cette fonction est atteint en $\varepsilon = \frac{1}{2\nu}$ et qu'il vaut $R = \frac{E}{2\nu e}$

Courbe de traction pour un matériau dur

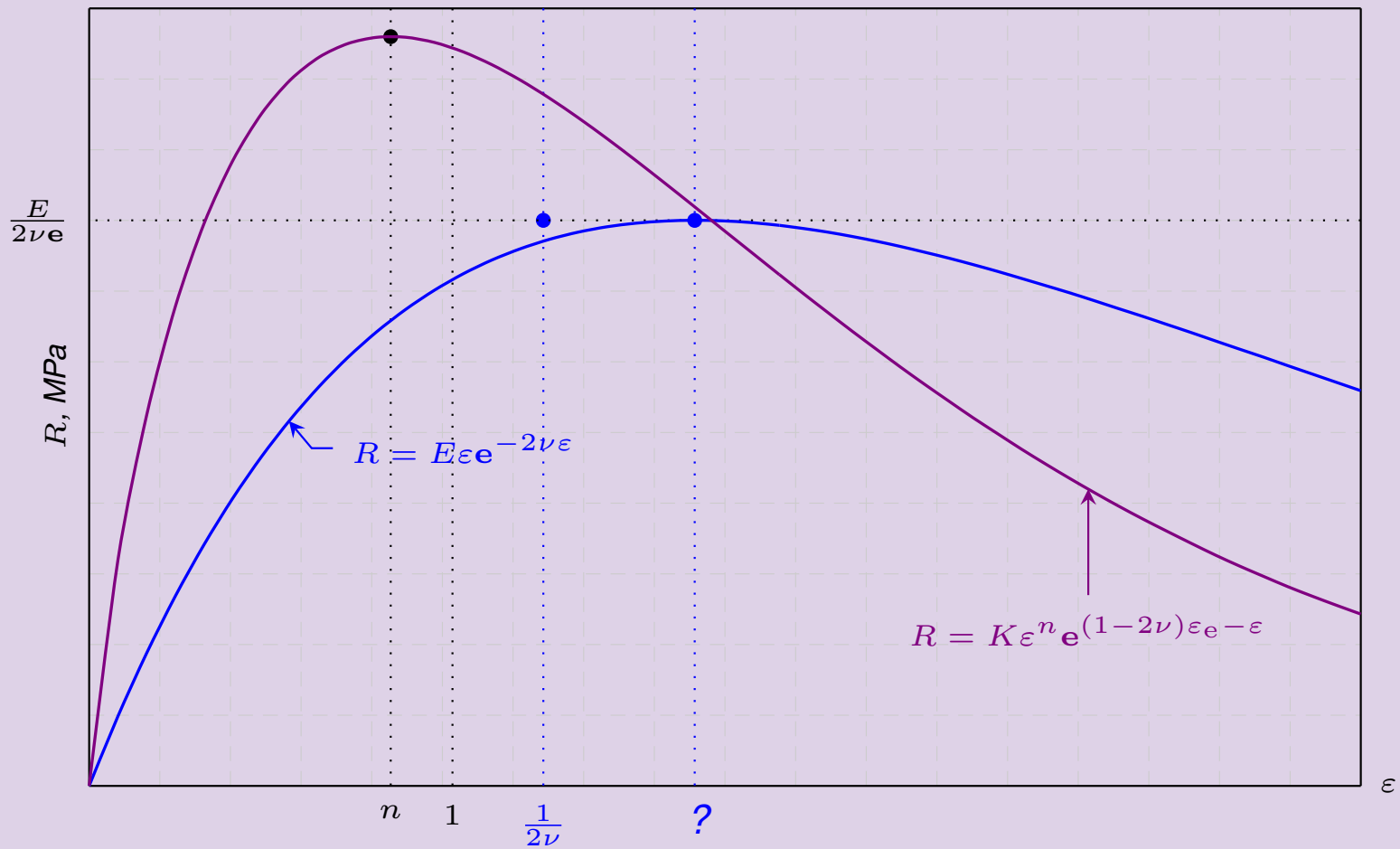
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



On peut vérifier que le maximum de cette fonction est atteint en $\varepsilon = \frac{1}{2\nu}$ et qu'il vaut $R = \frac{E}{2\nu \mathbf{e}}$

Courbe de traction pour un matériau dur

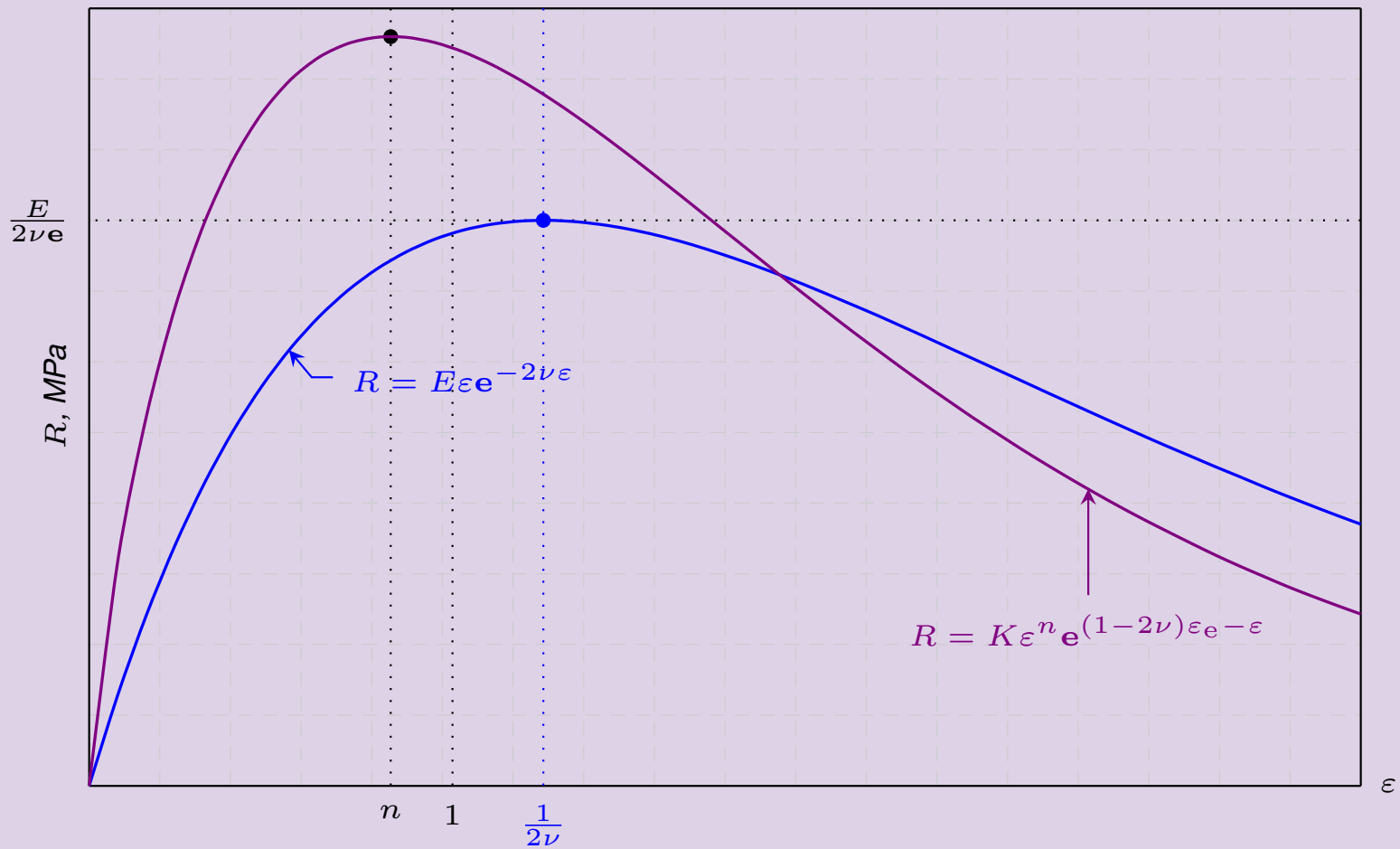
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



La courbe bleue ainsi dessinée ne convient pas. Il faut la modifier pour qu'elle culmine en $\frac{1}{2\nu}$

Courbe de traction pour un matériau dur

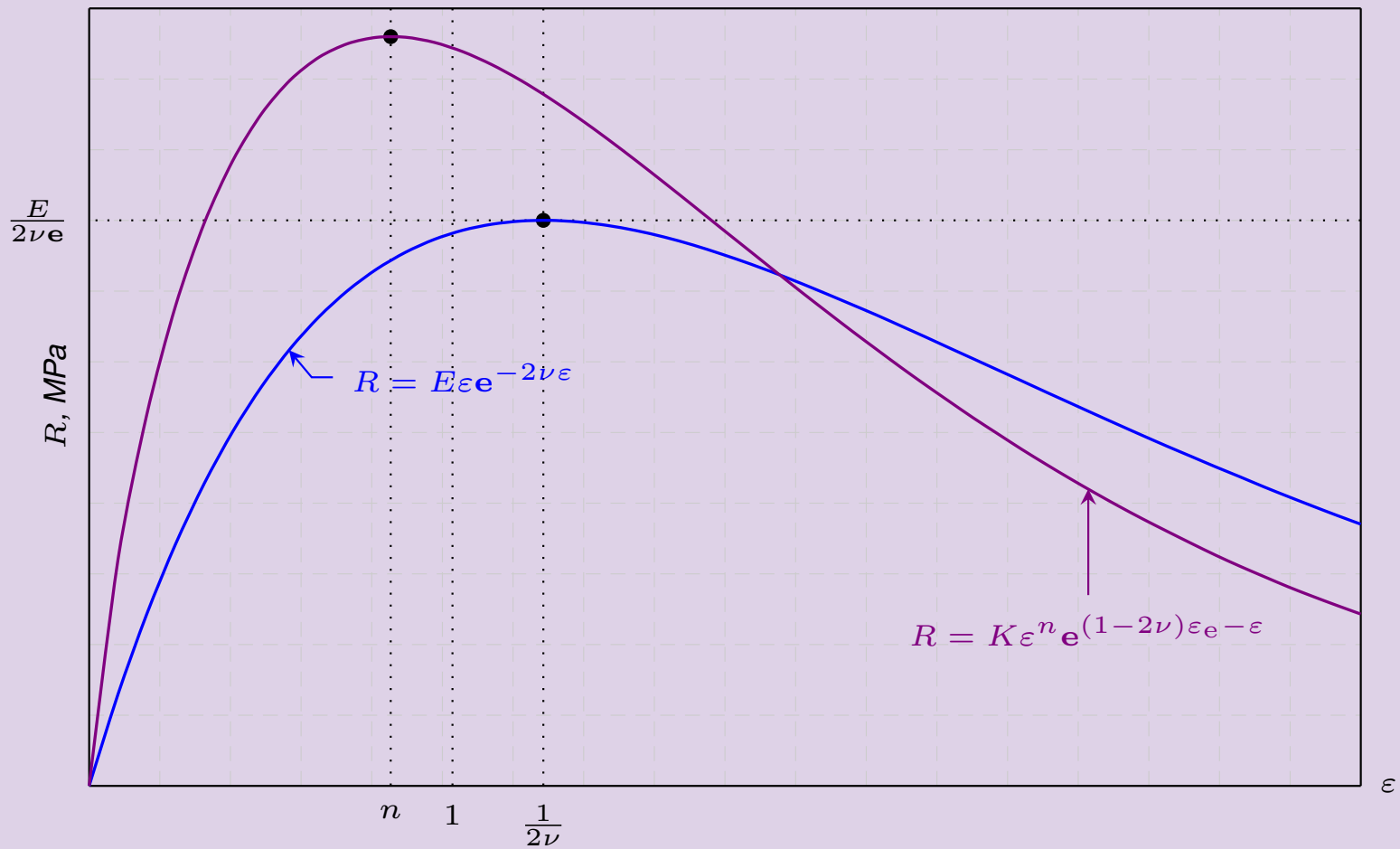
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



La courbe bleue ainsi dessinée ne convient pas. Il faut la modifier pour qu'elle culmine en $\frac{1}{2\nu}$

Courbe de traction pour un matériau dur

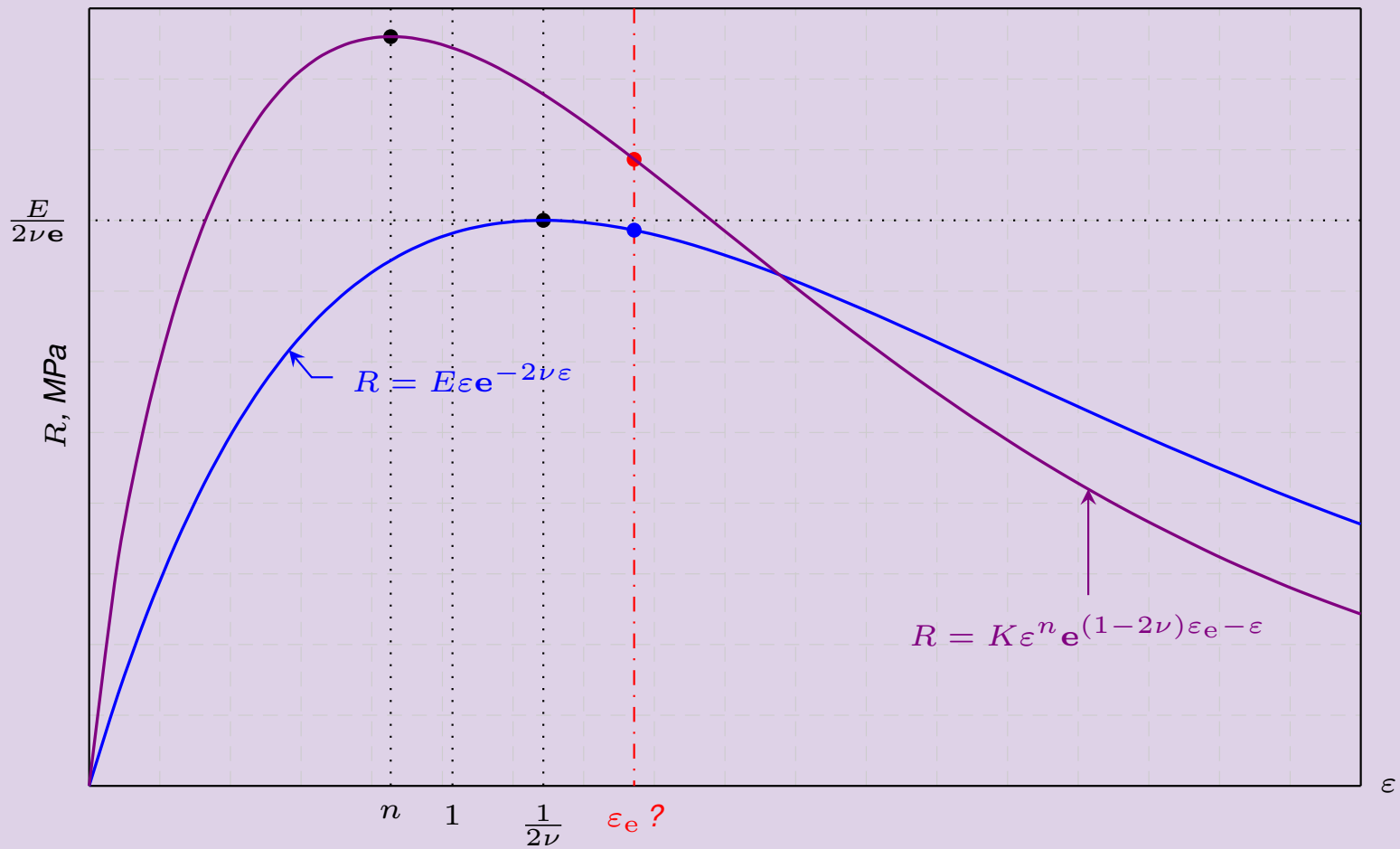
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Plaçons maintenant l'abscisse ε_e sur l'axe horizontal, peut-il être là ?

Courbe de traction pour un matériau dur

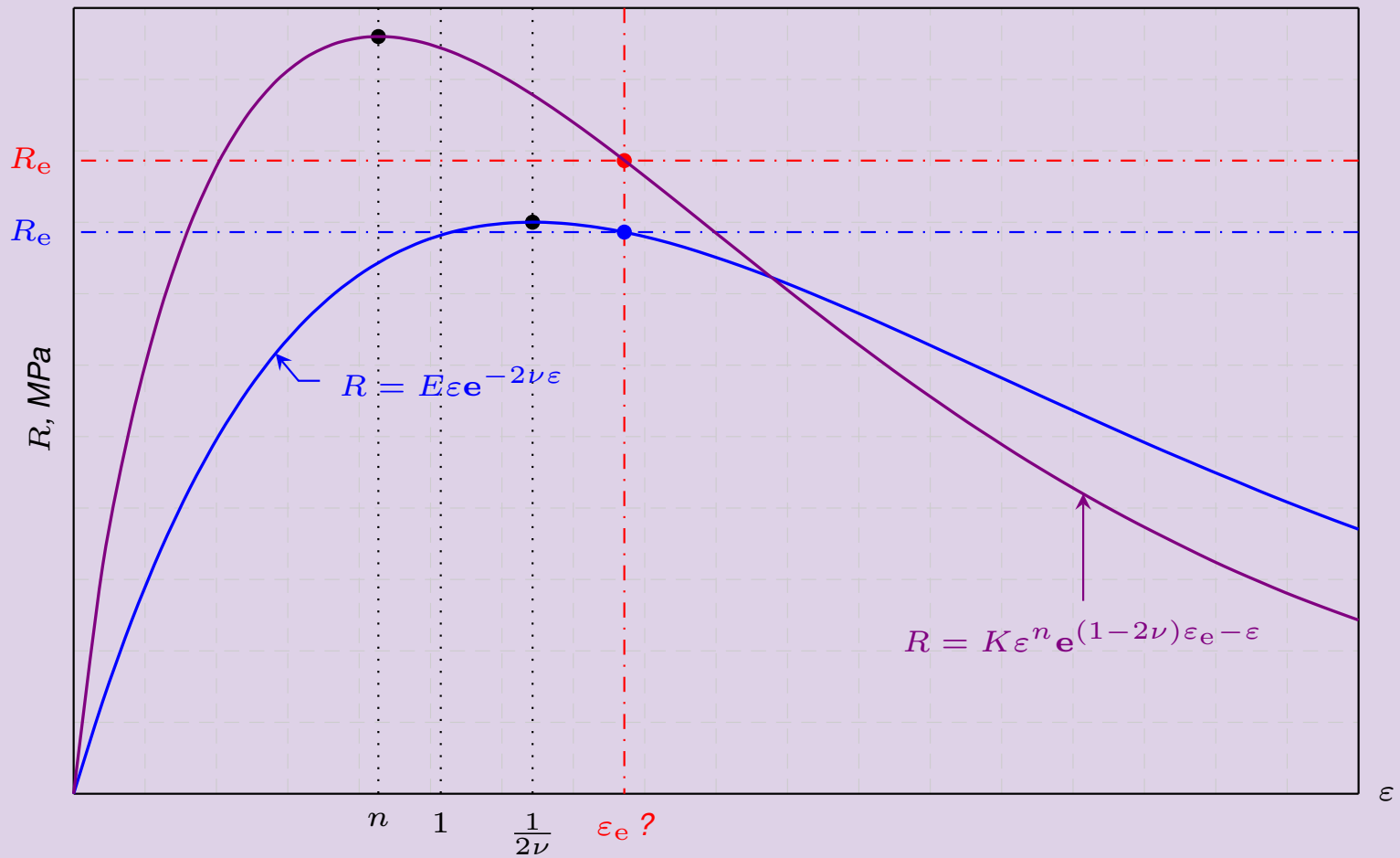
- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



Plaçons maintenant l'abscisse ε_e sur l'axe horizontal, peut-il être là ?

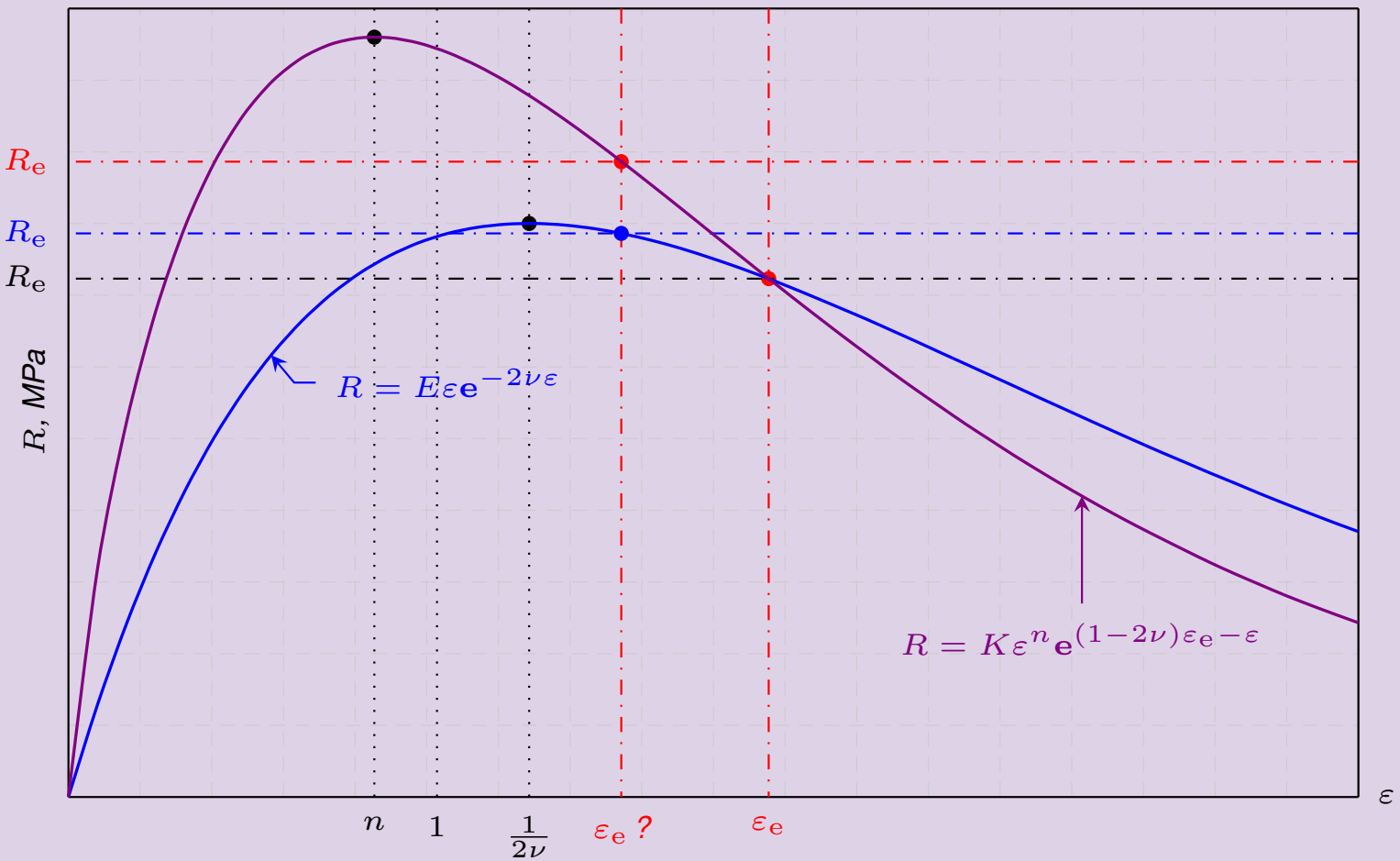
Courbe de traction pour un matériau dur

- Si $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$,



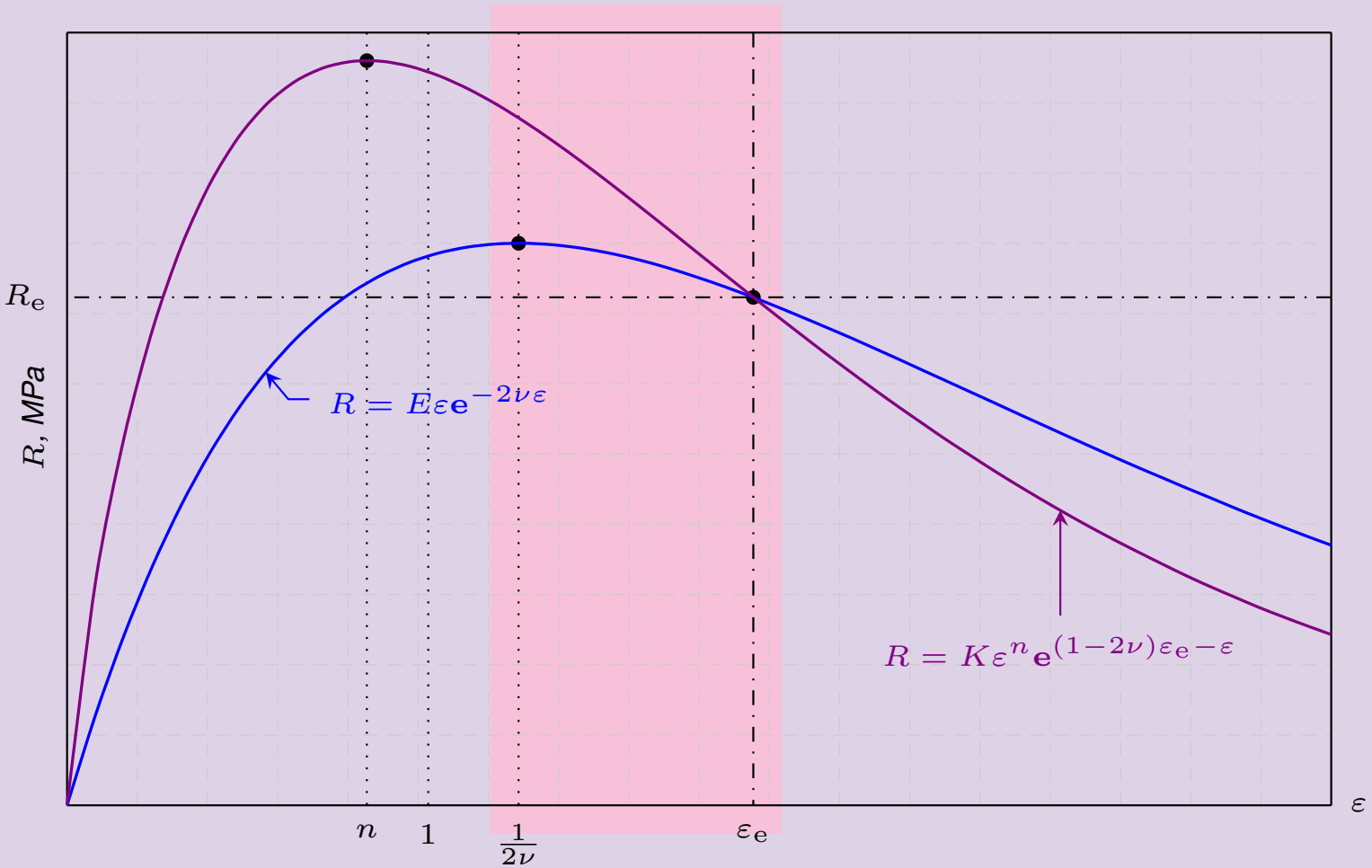
Non, car en $\varepsilon = \varepsilon_e$ les deux lois (élastique et plastique) sont valables et doivent donner la même contrainte nominale : R_e

Courbe de traction pour un matériau très dur



Il doit donc se trouver à l'amplomb de l'intersection des courbes rouge et bleues

Courbe de traction pour un matériau très dur

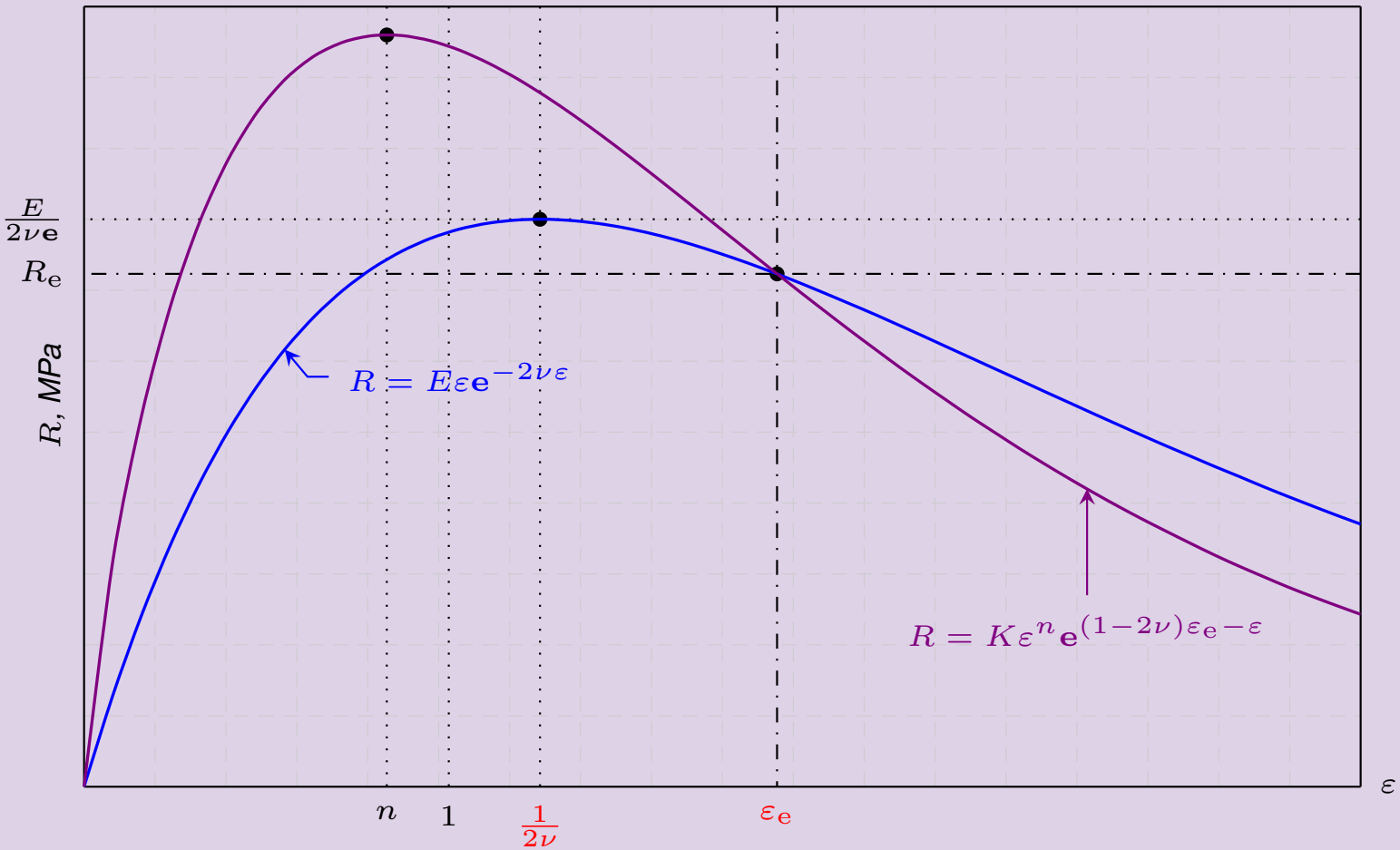


Observez que le maximum du graphe de $\varepsilon \to R = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}$ est EN DECA de ε_e !

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_e > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_m = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_m = \frac{E}{2\nu e}.$$

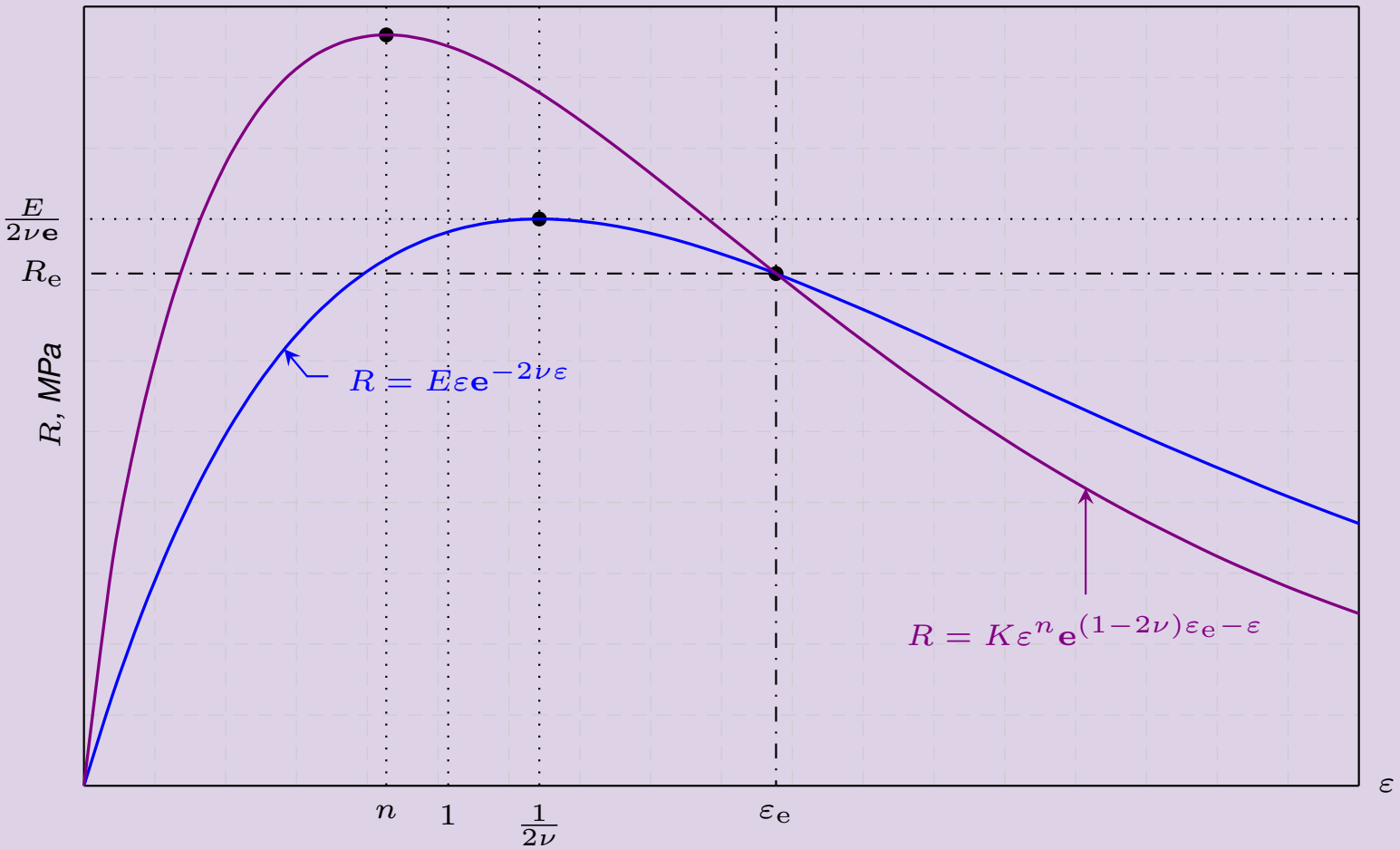


Dans cette situation on fait l'observation que ε_e est **vraiment** très grand ($> \frac{1}{2\nu}$)

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu\mathbf{e}}.$$

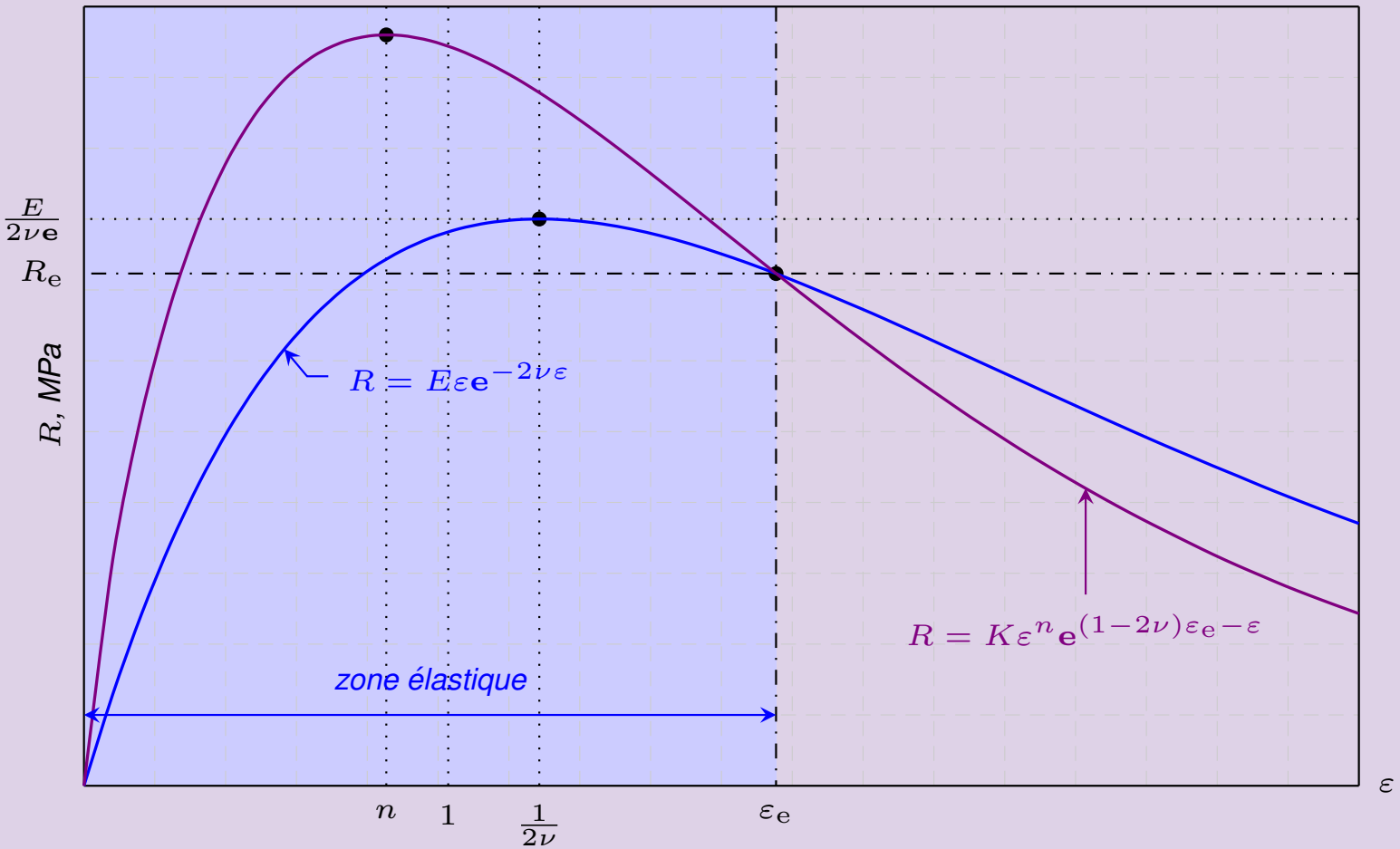


On dit qu'on a à faire à un matériau **très très dur**

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu\mathrm{e}}.$$

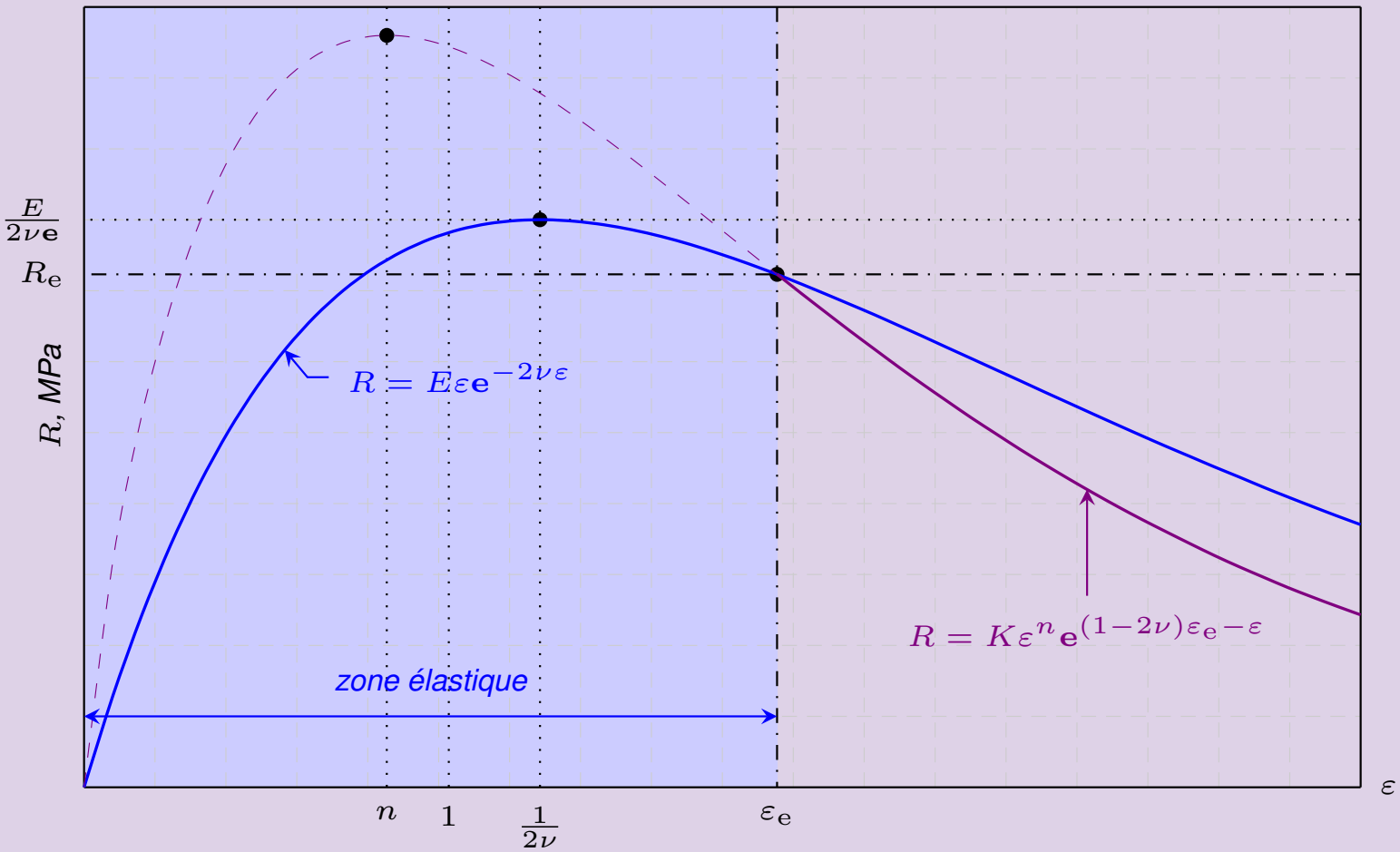


En deça de ε_{e} on est en élasticité et R est donné par la fonction bleue

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

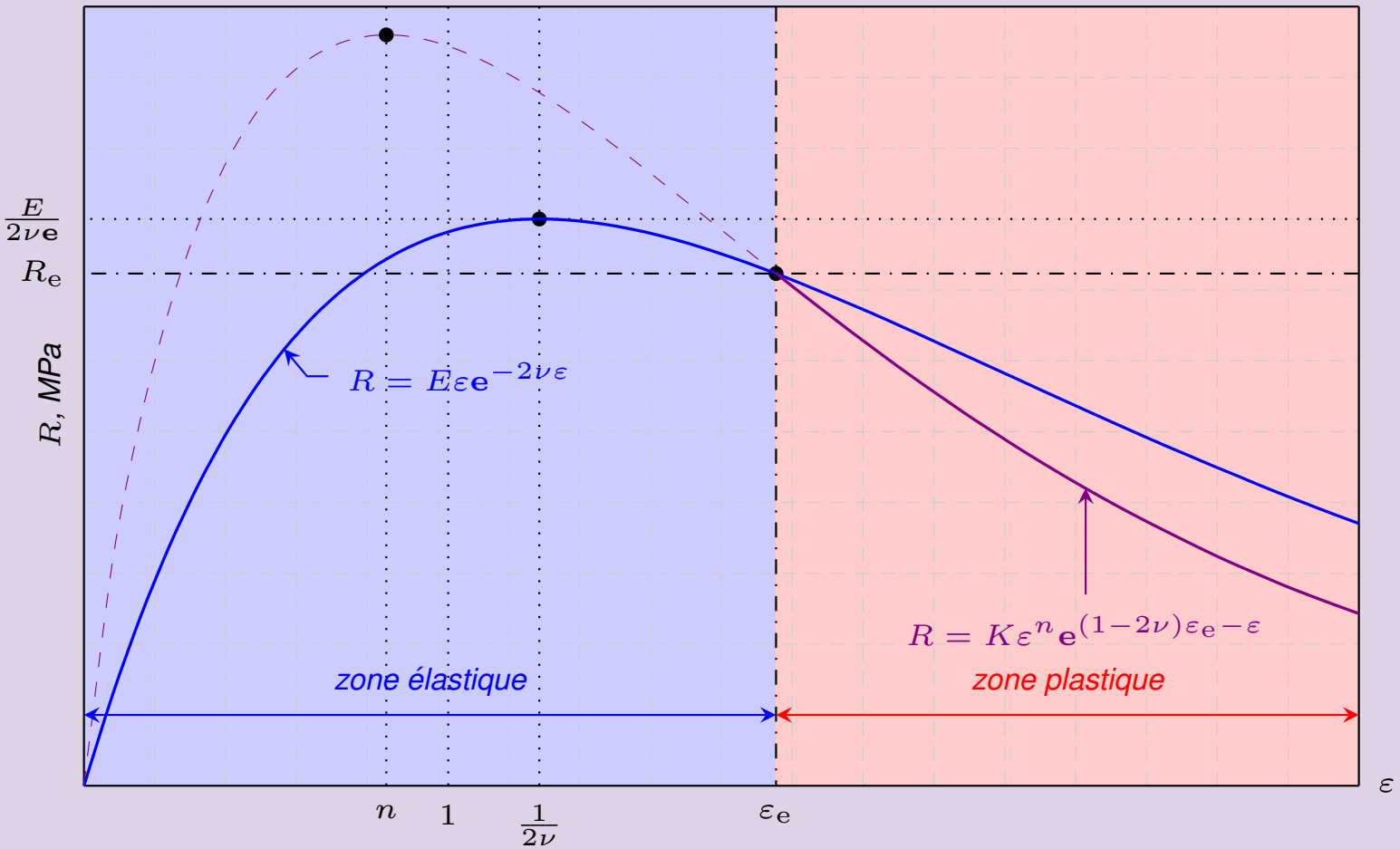
$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu \mathrm{e}}.$$



Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu \mathrm{e}}.$$

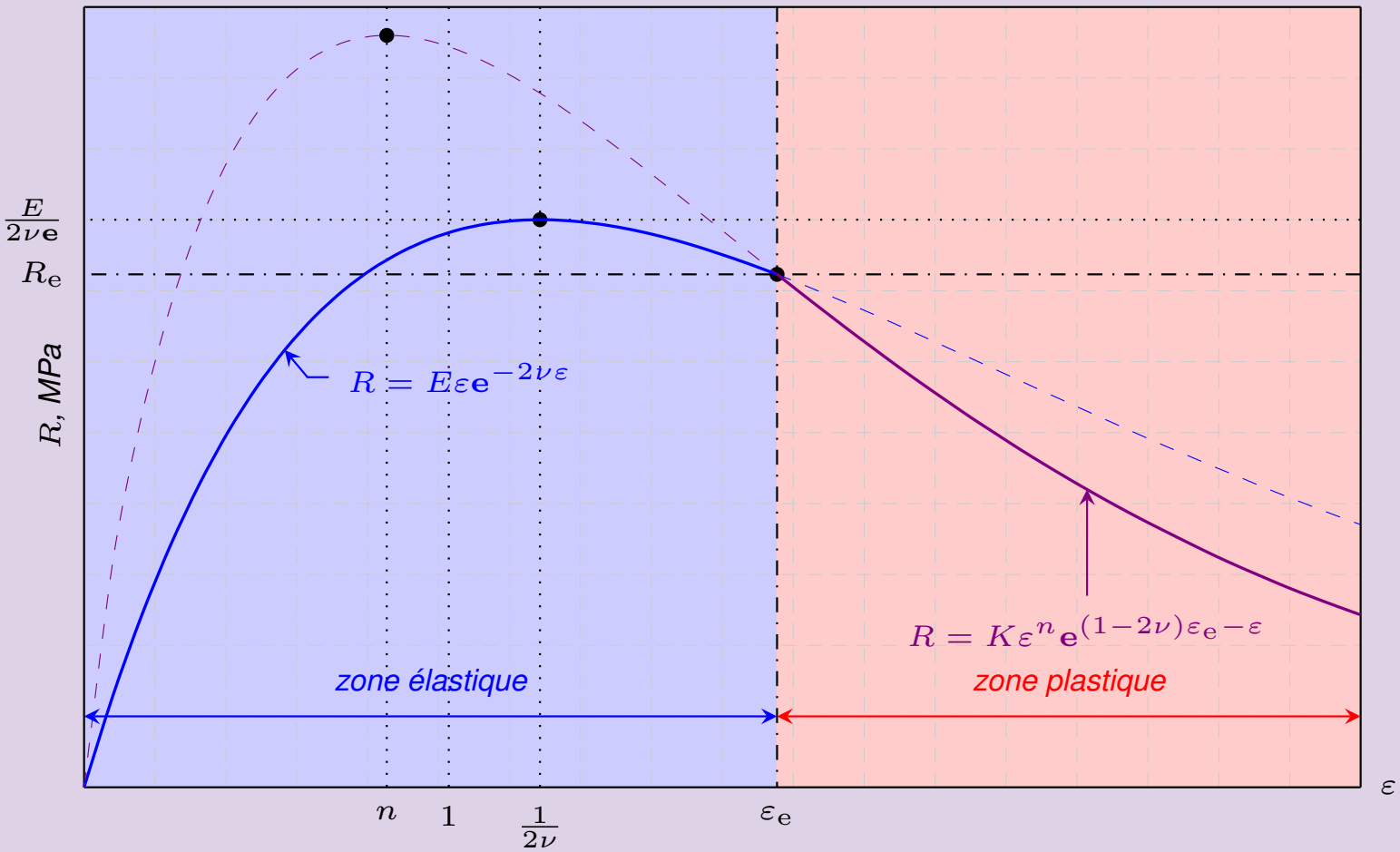


Au delà de ε_{e} on est en plasticité et R est donné par la fonction rouge

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

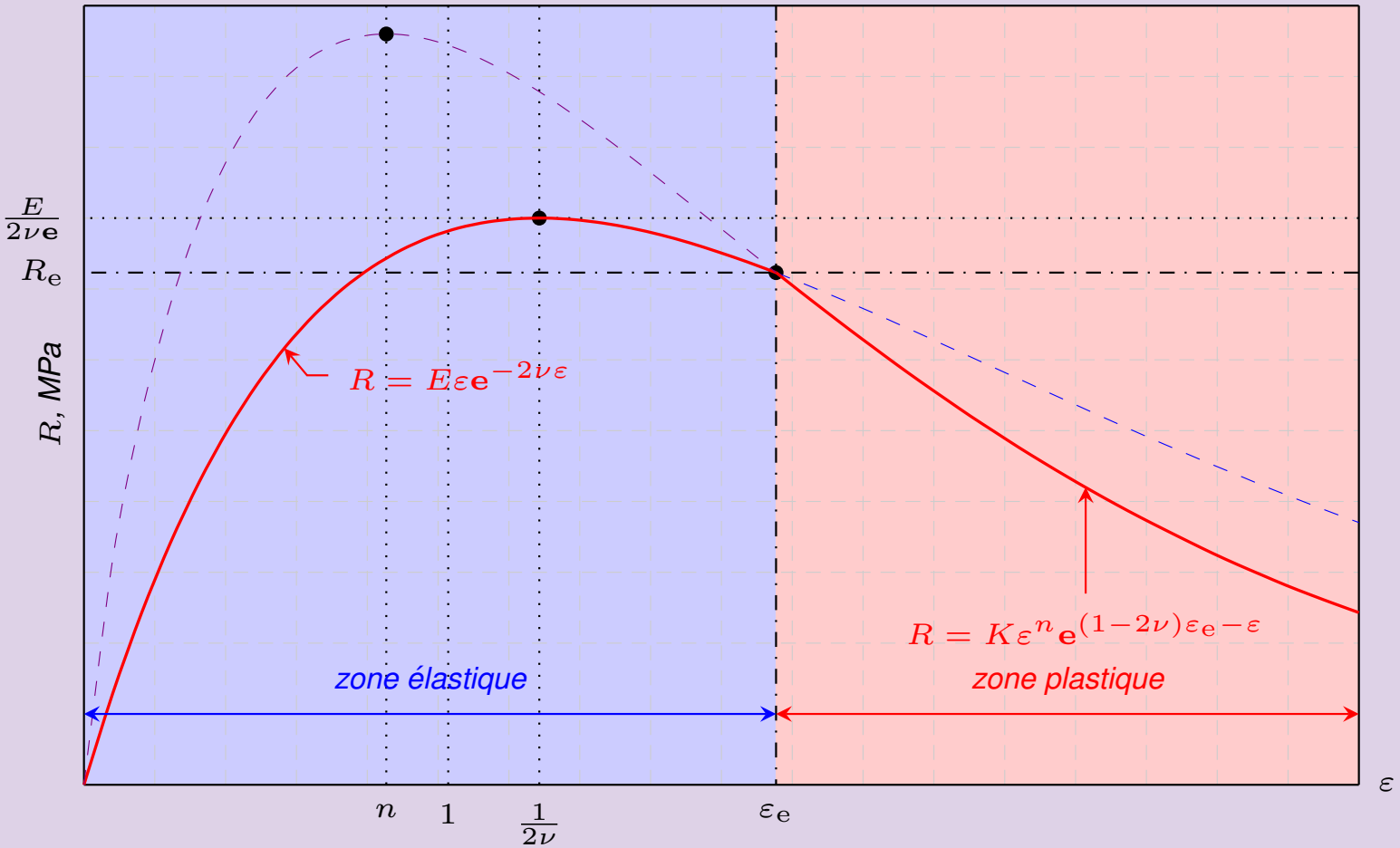
$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu \mathrm{e}}.$$



Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu \mathrm{e}}.$$

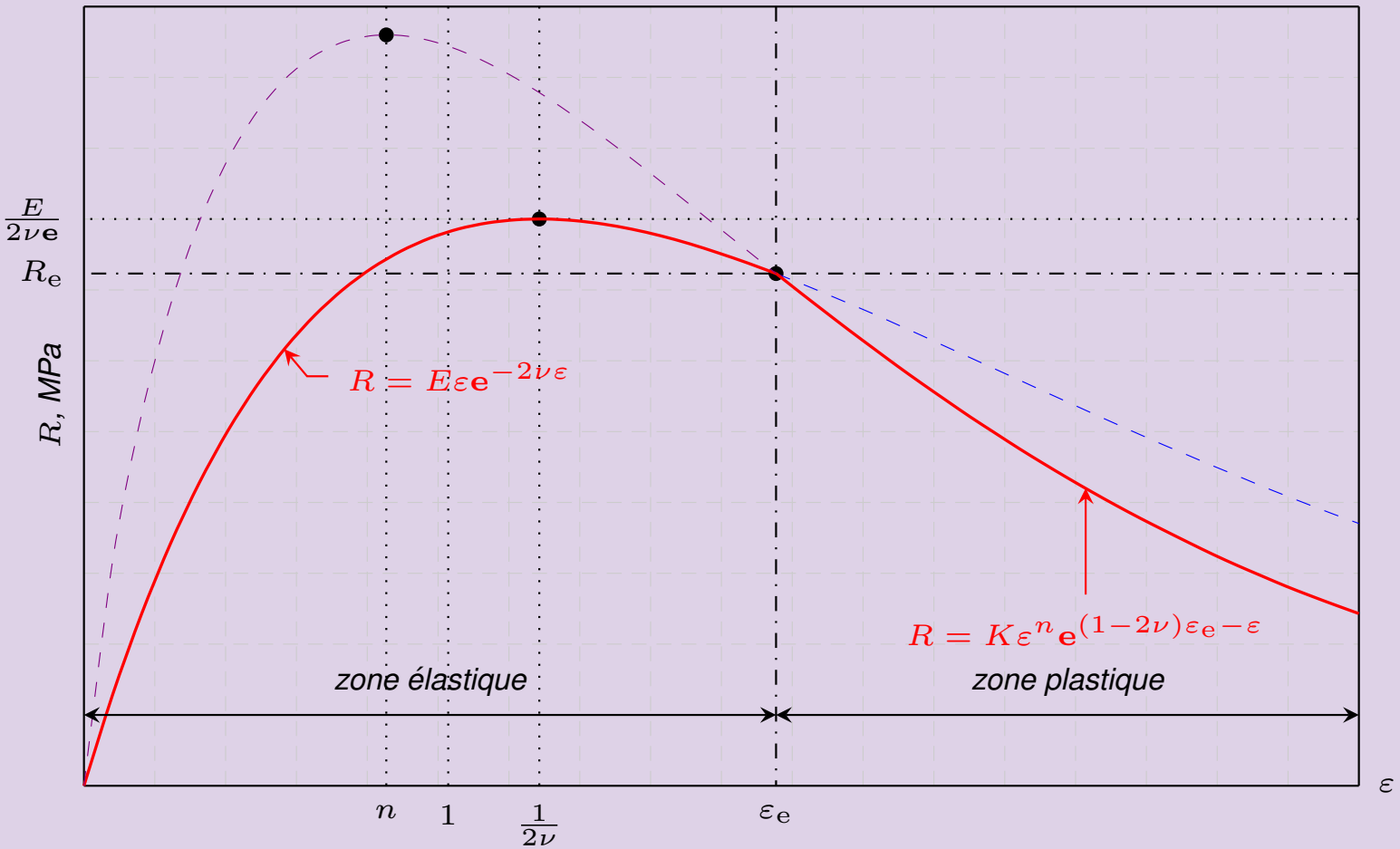


La courbe de traction de notre matériau est donc la courbe présentée ici en rouge !

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu \mathrm{e}}.$$

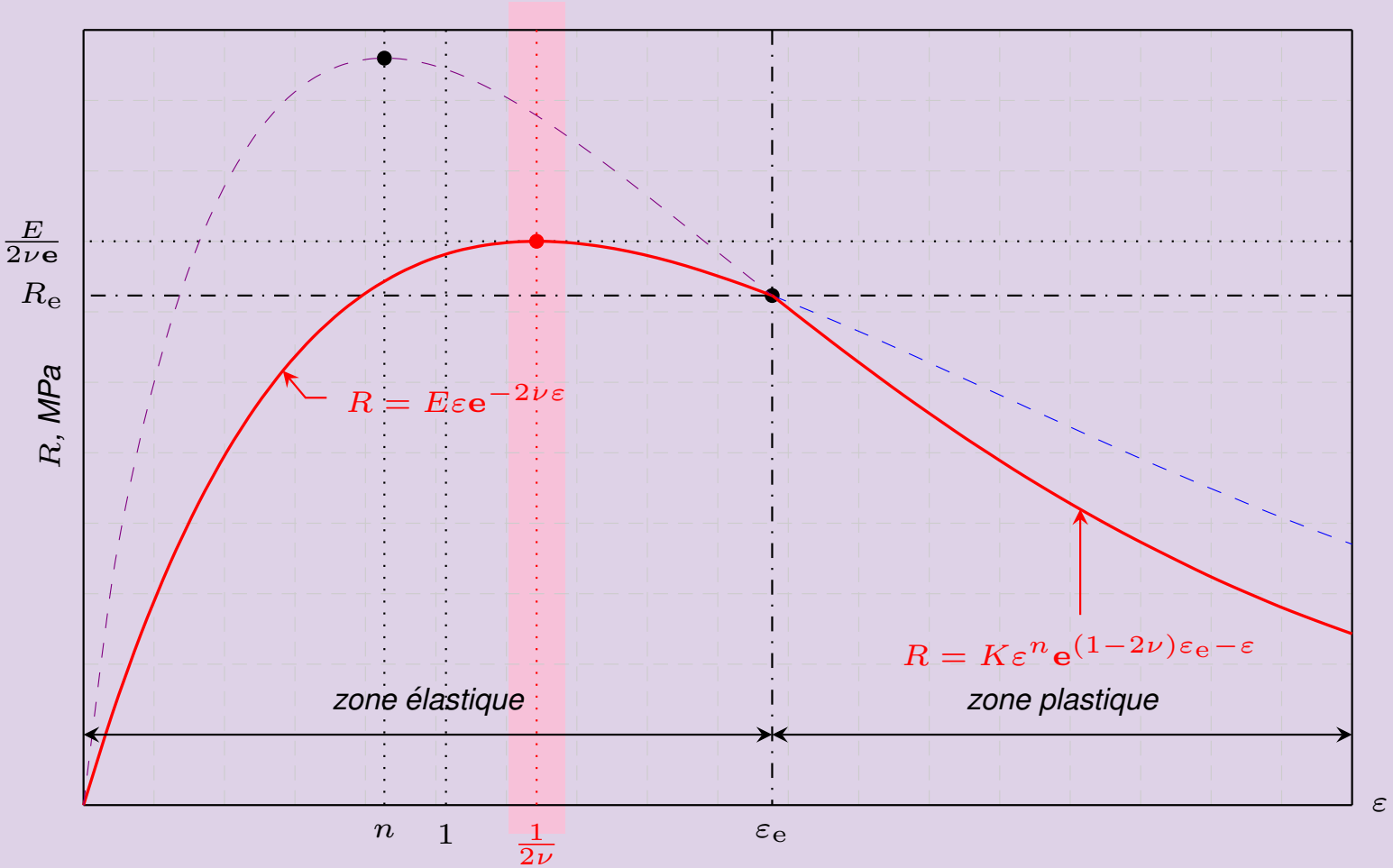


Il s'agit maintenant d'étudier LA RESISTANCE, soit de localiser le maximum de cette courbe !

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu \mathrm{e}}.$$

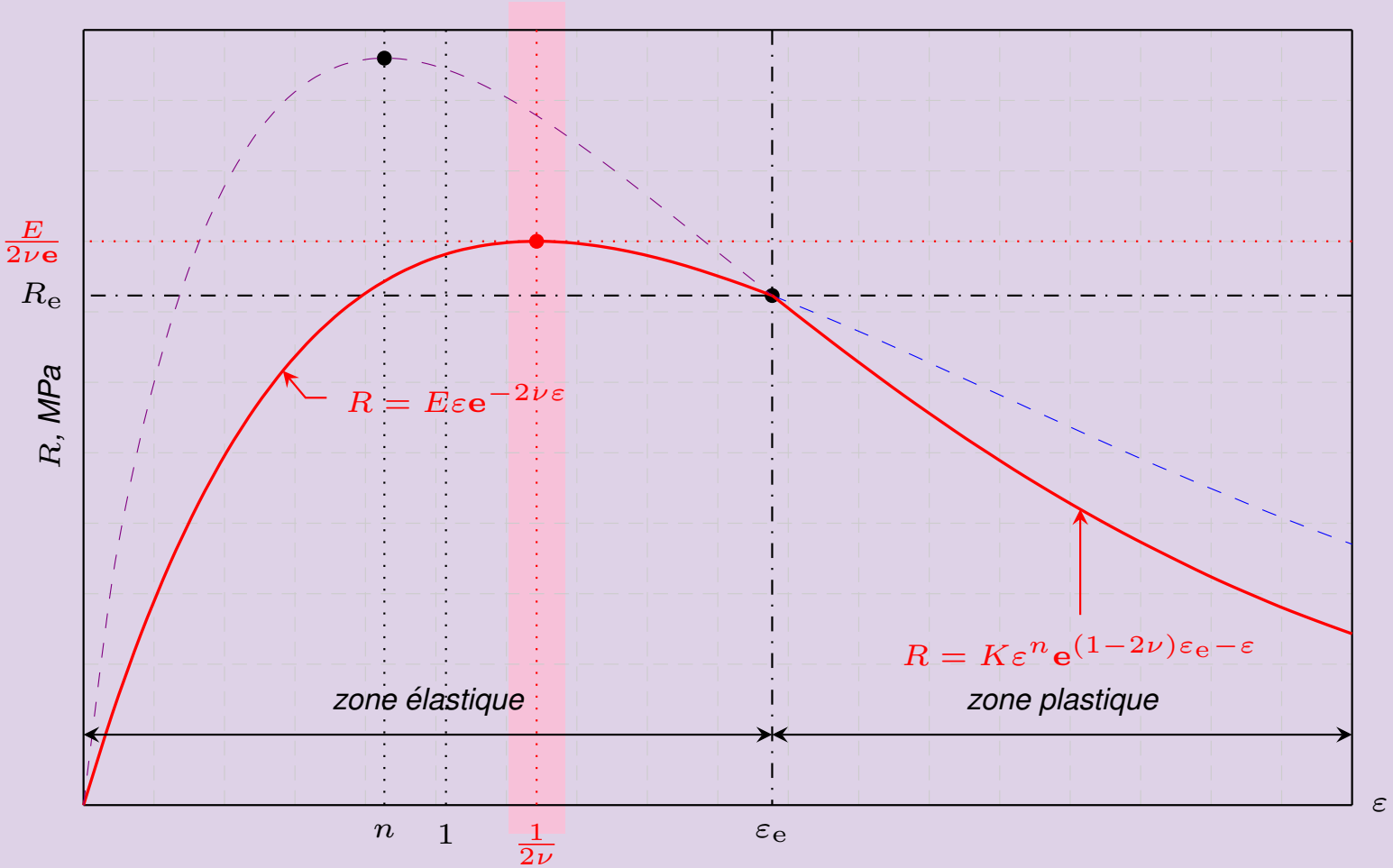


Son maximum se localise au dessus de $\frac{1}{2\nu}$ et correspond à la valeur que $\frac{E}{2\nu \mathrm{e}}$!

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu\mathbf{e}}.$$

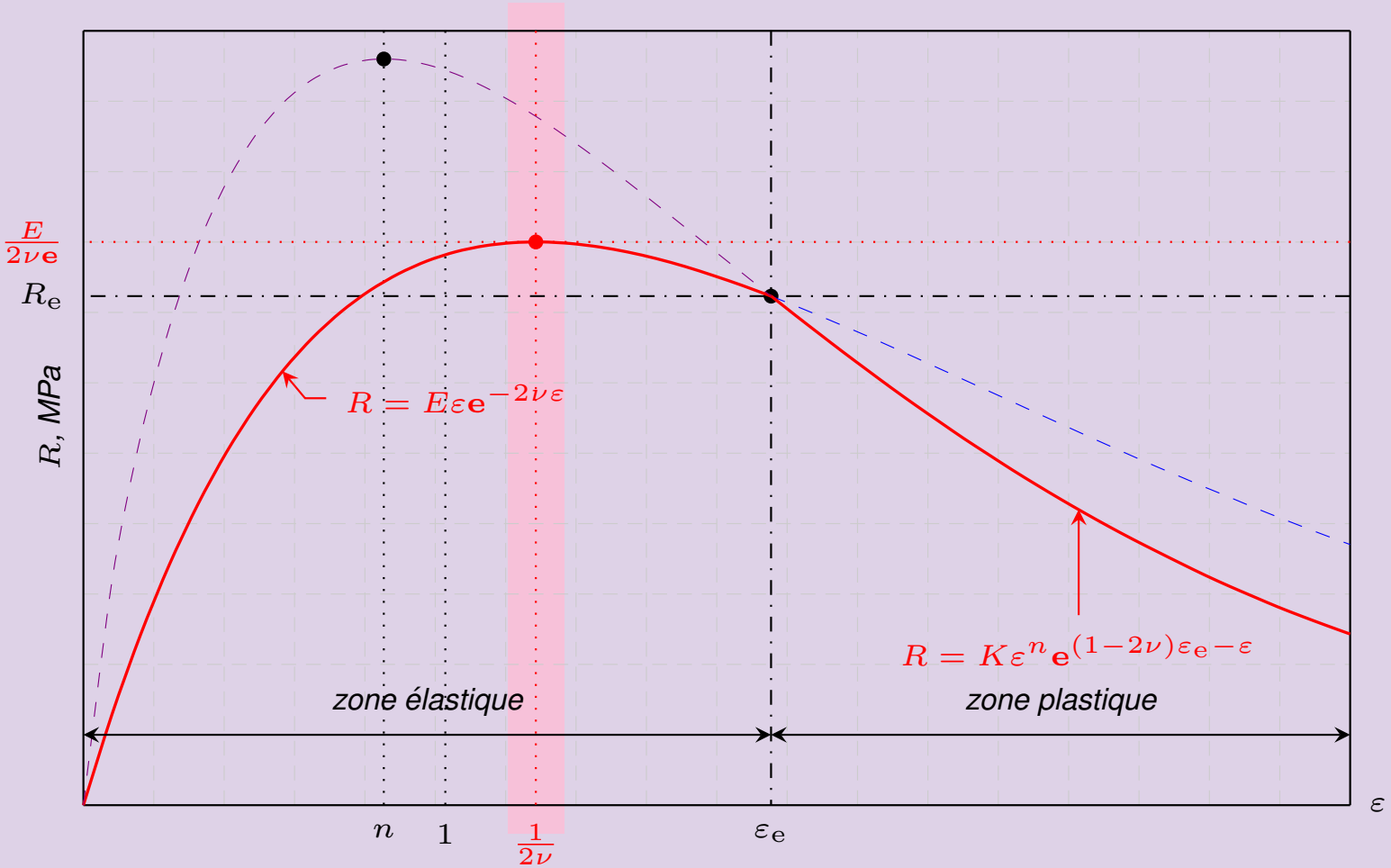


Son maximum se localise au dessus de $\frac{1}{2\nu}$ et correspond à la valeur que $\frac{E}{2\nu\mathbf{e}}$!

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

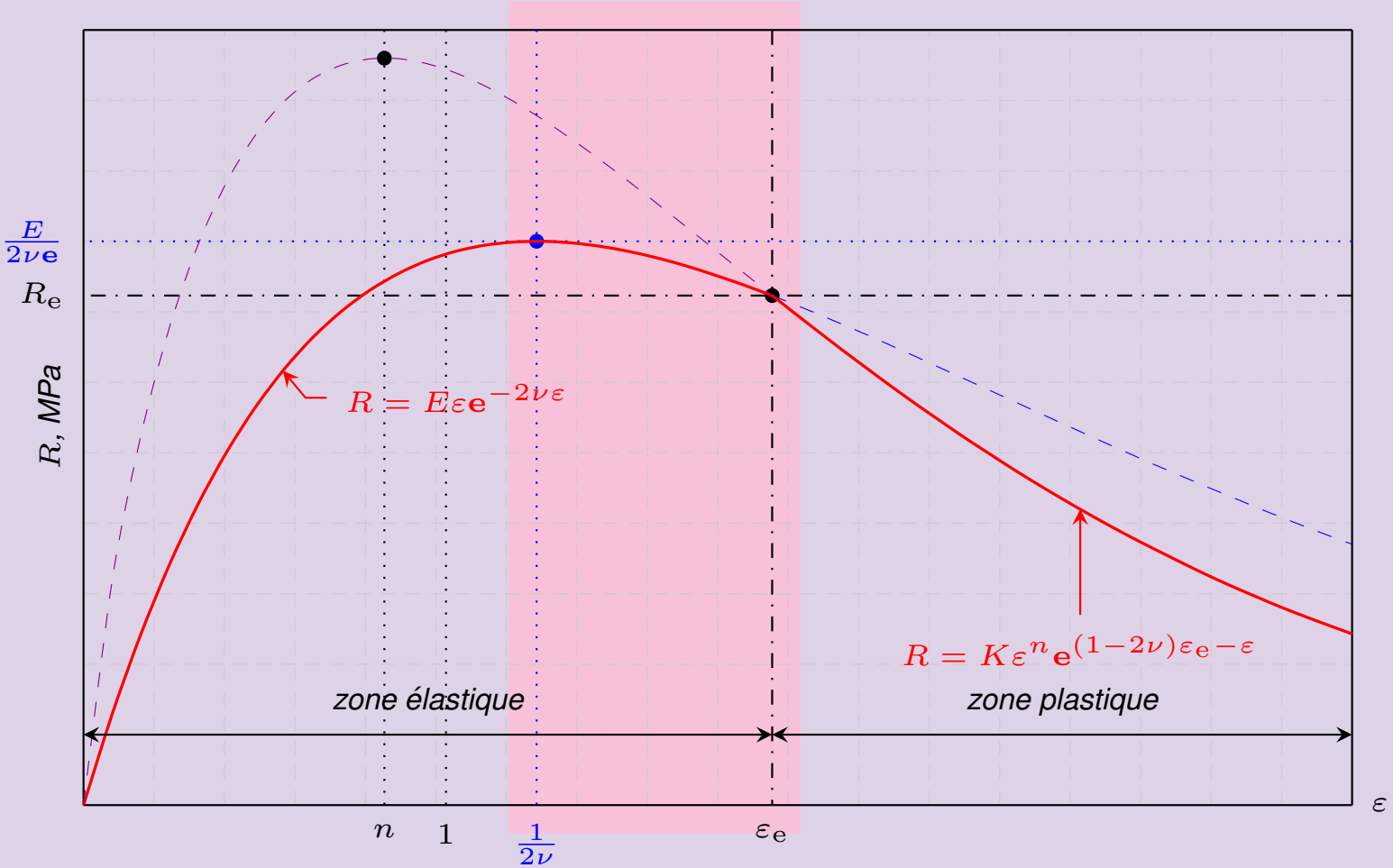
$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu\mathbf{e}}.$$



Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \textit{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu \mathbf{e}}.$$

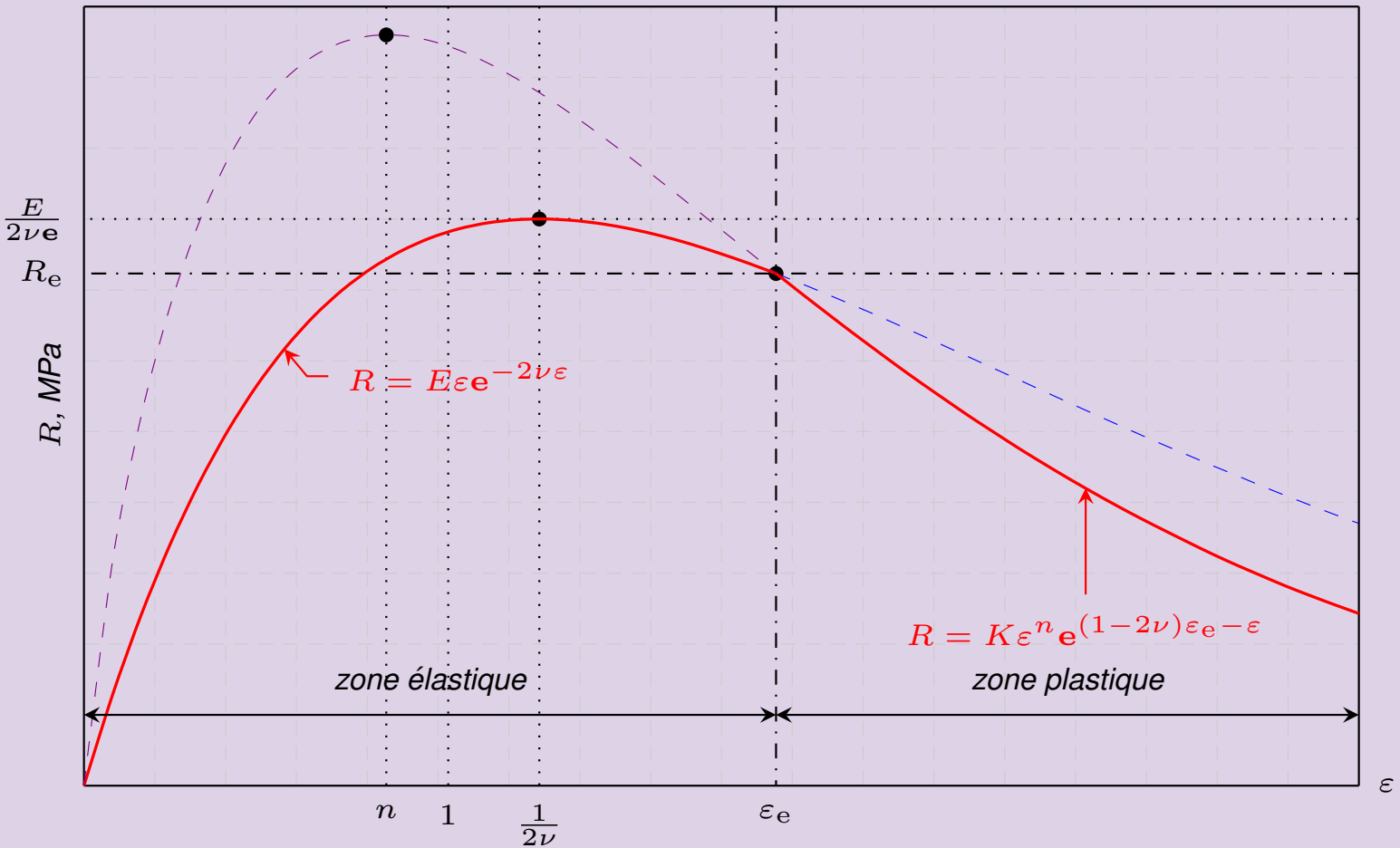


Dessins des courbes avec la LOCALISATION DU MAXIMUM de la courbe bleue aux Tableaux

Courbe de traction pour un matériau très dur

- *Si* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > \frac{1}{2\nu}$, *la résistance est atteinte à l'intérieur de la zone élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \frac{1}{2\nu} \quad \textit{et} \quad R_{\mathrm{m}} = \frac{E}{2\nu\mathbf{e}}.$$

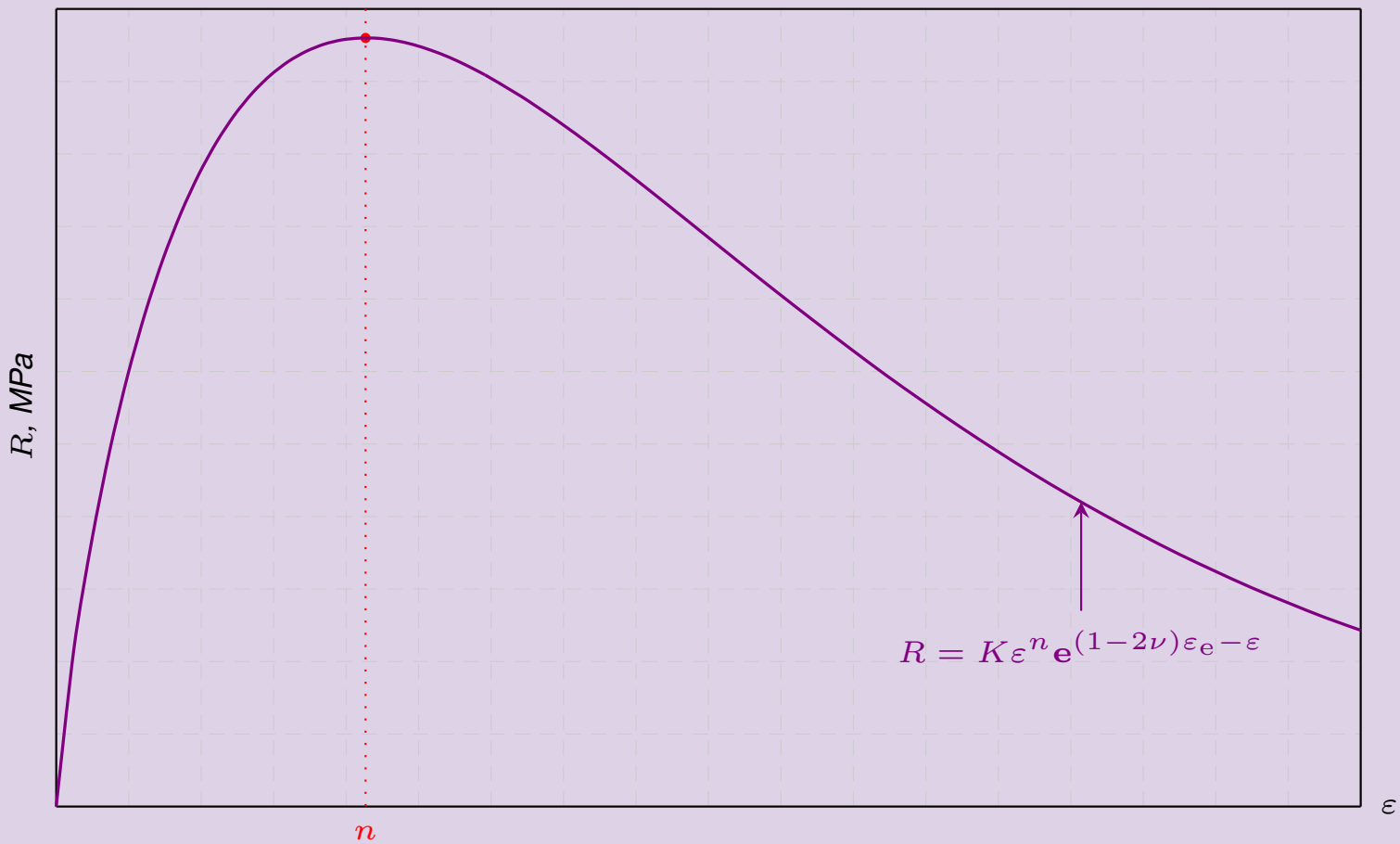


La situation va changer si ε_{e} passe en dessous de $\frac{1}{2\nu}$ mais reste $> n$.

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_{\mathrm{e}} \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{e}} \quad \text{et} \quad R_{\mathrm{m}} = R_{\mathrm{e}}.$$

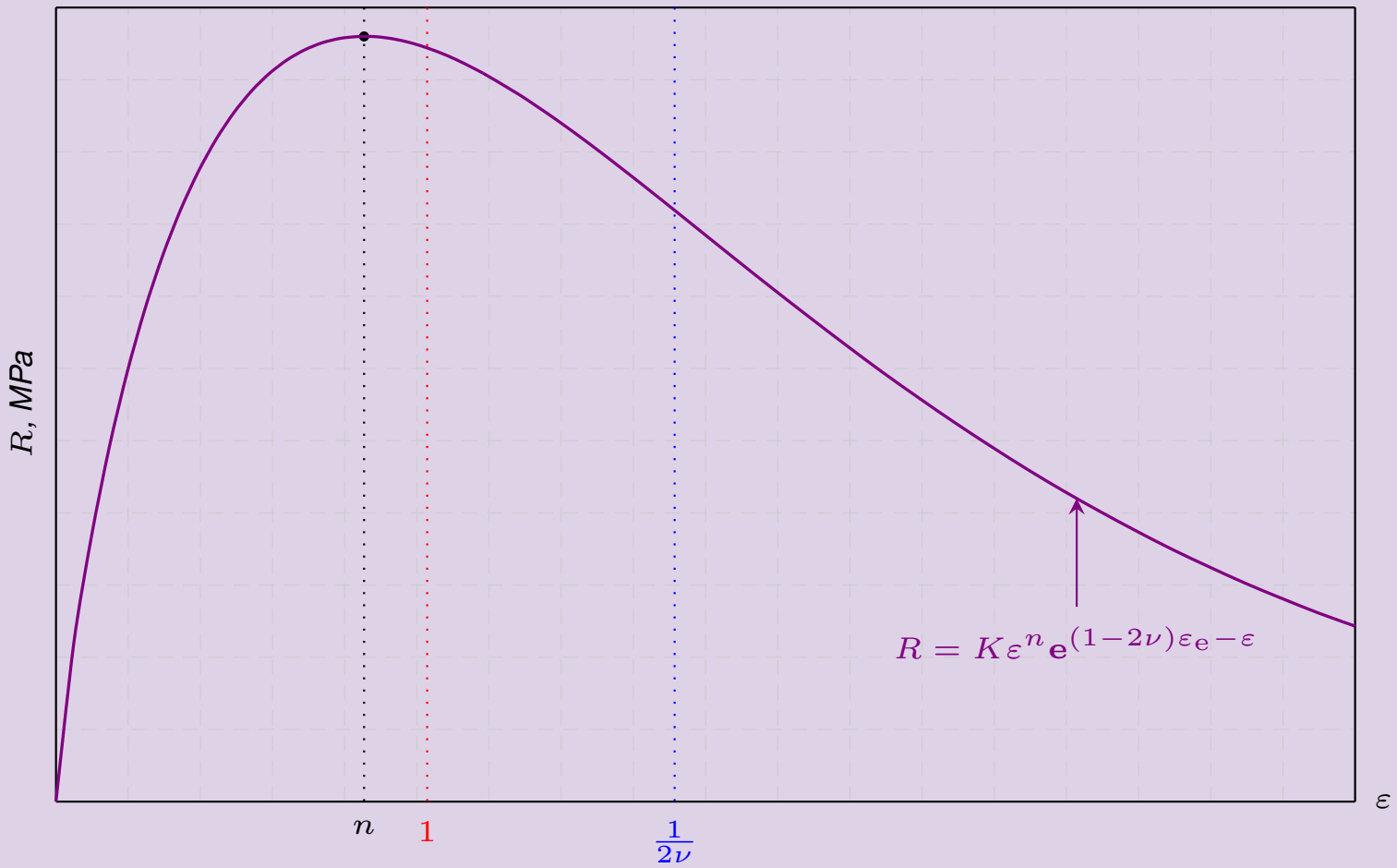


Revoici le graphe de la fonction $\varepsilon \to R = K\varepsilon^n \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_{\mathrm{e}}-\varepsilon}$, qui représente R en zone plastique avec n en abscisse

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_{\mathrm{e}} \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{e}} \quad \textit{et} \quad R_{\mathrm{m}} = R_{\mathrm{e}}.$$

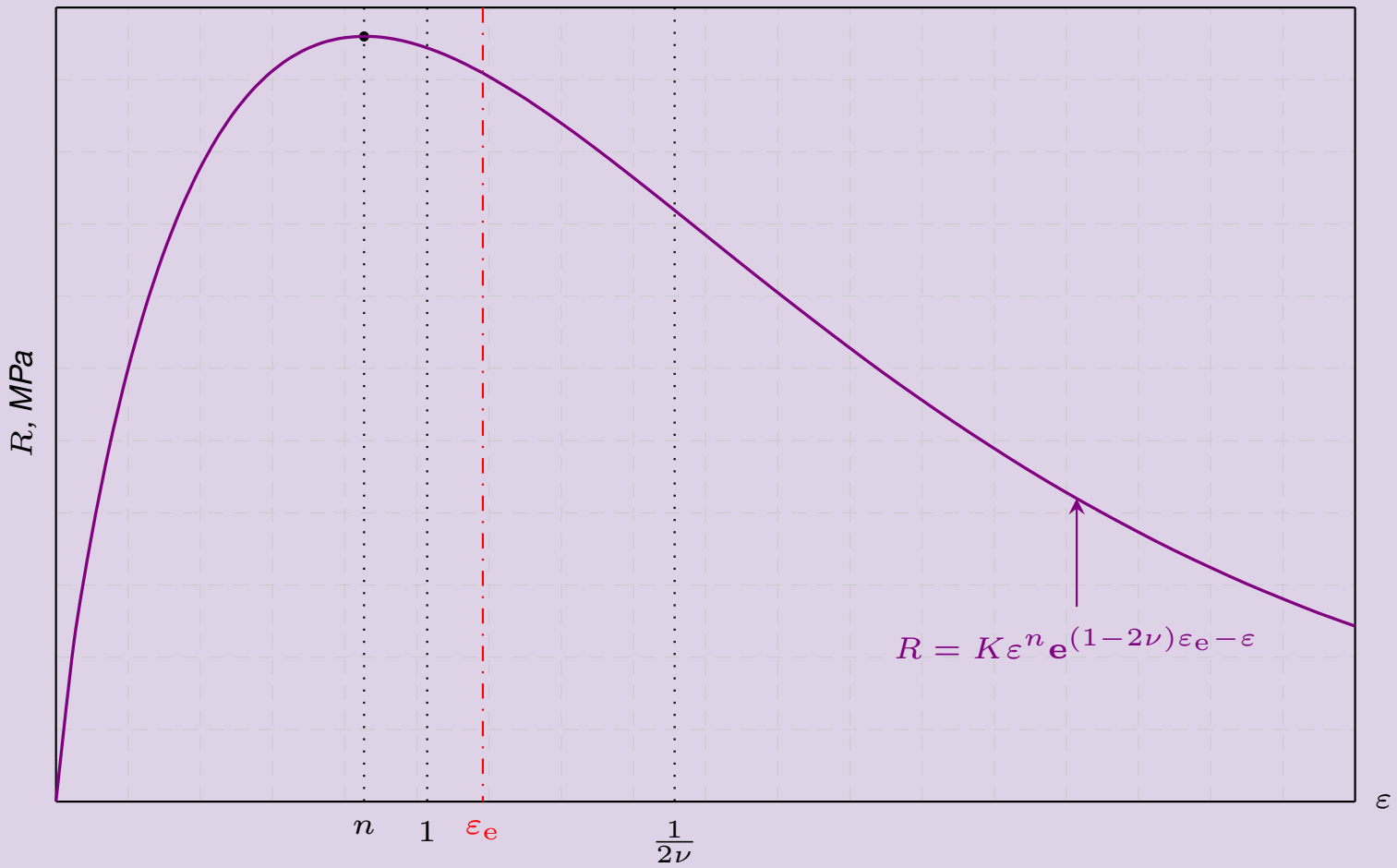


Comme tout à l'heure plaçons 1 et $\frac{1}{2\nu}$ en tenant compte que $\frac{1}{2\nu} > 1 > n$

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$

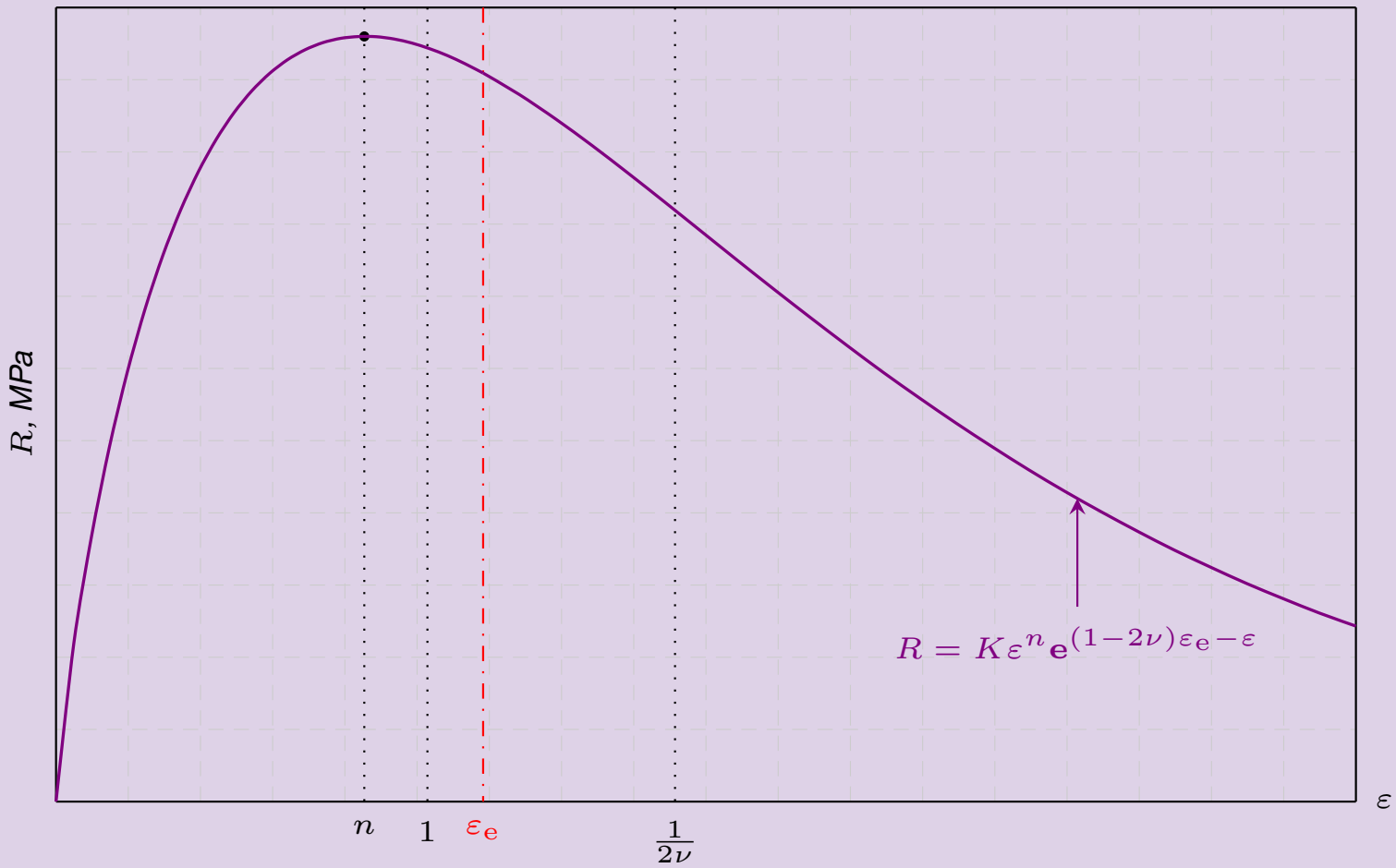


Plaçons ensuite ε_e de façon à ce qu'il soit $> n$ mais cette fois $< \frac{1}{2\nu}$

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$

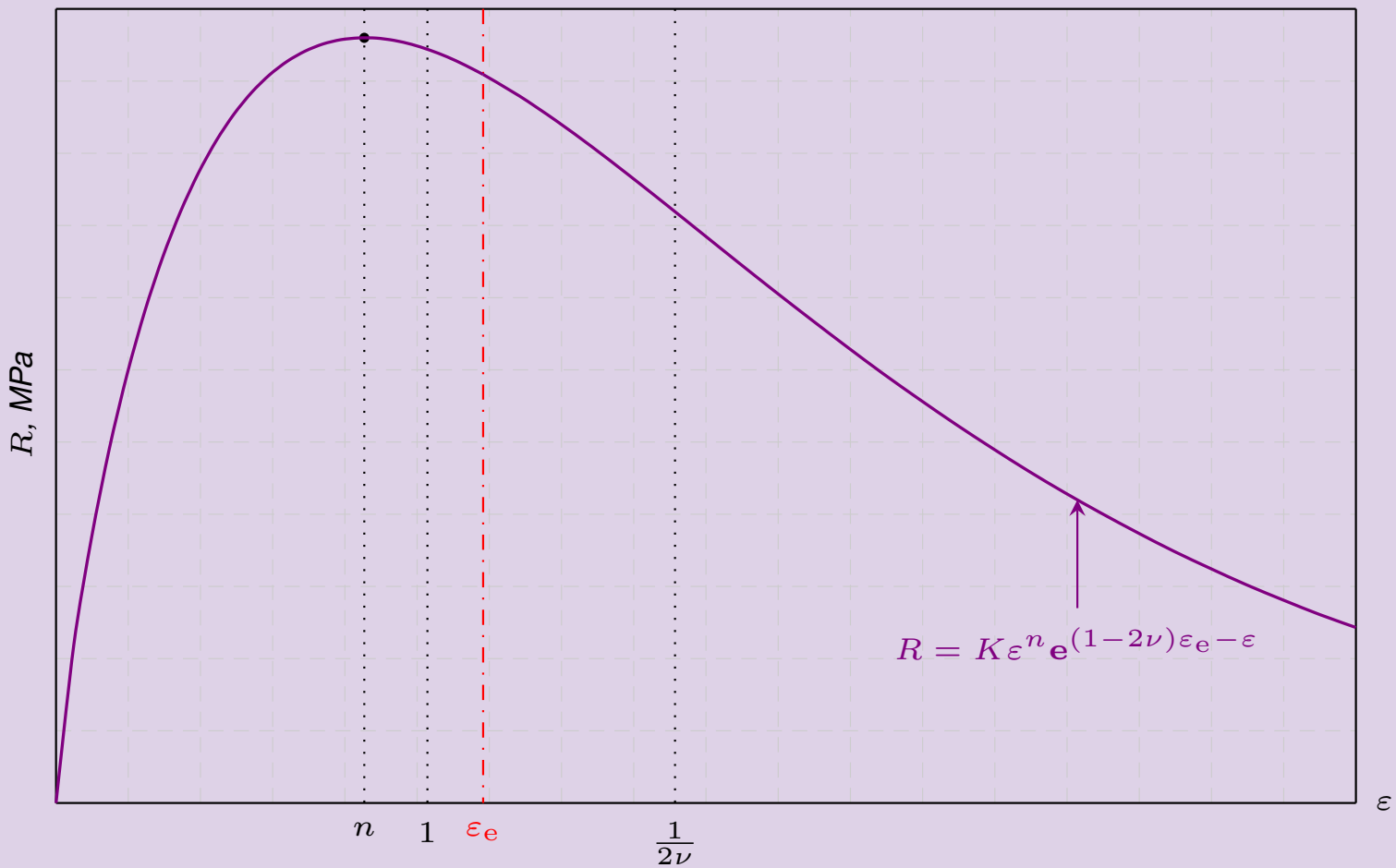


Puis plaçons en bleu le graphe de la fonction $\varepsilon \to R = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$, qui représente R en zone élastique

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ mais $\varepsilon_e > n$, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$

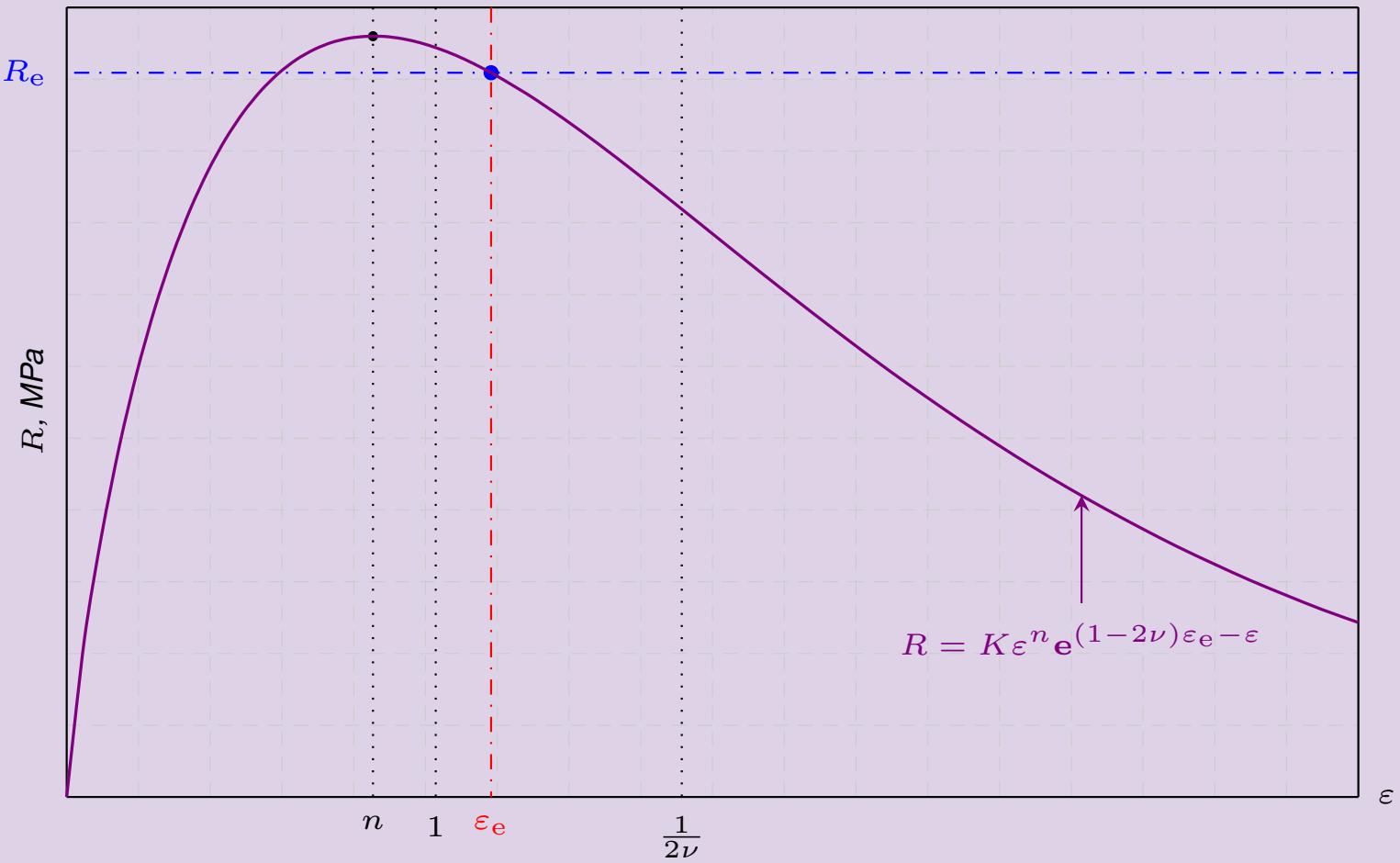


Mais où le graphe de $\varepsilon \to R = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ croise-t-il celui de $\varepsilon \to R = K\varepsilon^n \mathbf{e}^{(1-2\nu)\varepsilon_e - \varepsilon}$ (courbe rouge) ?

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$

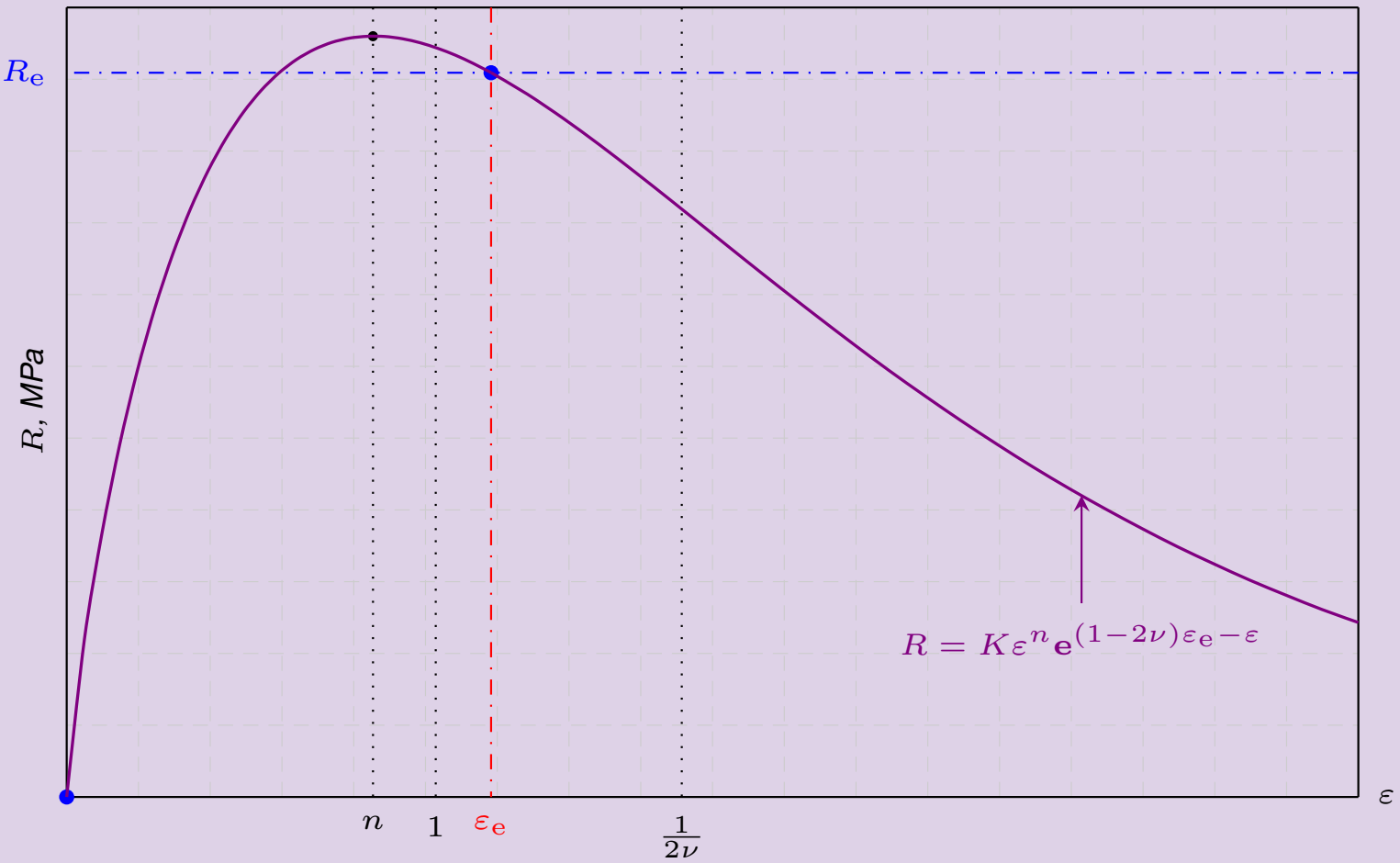


Ces graphes se croisent $\varepsilon = \varepsilon_e$ où ils prédisent que $R = R_e$

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$

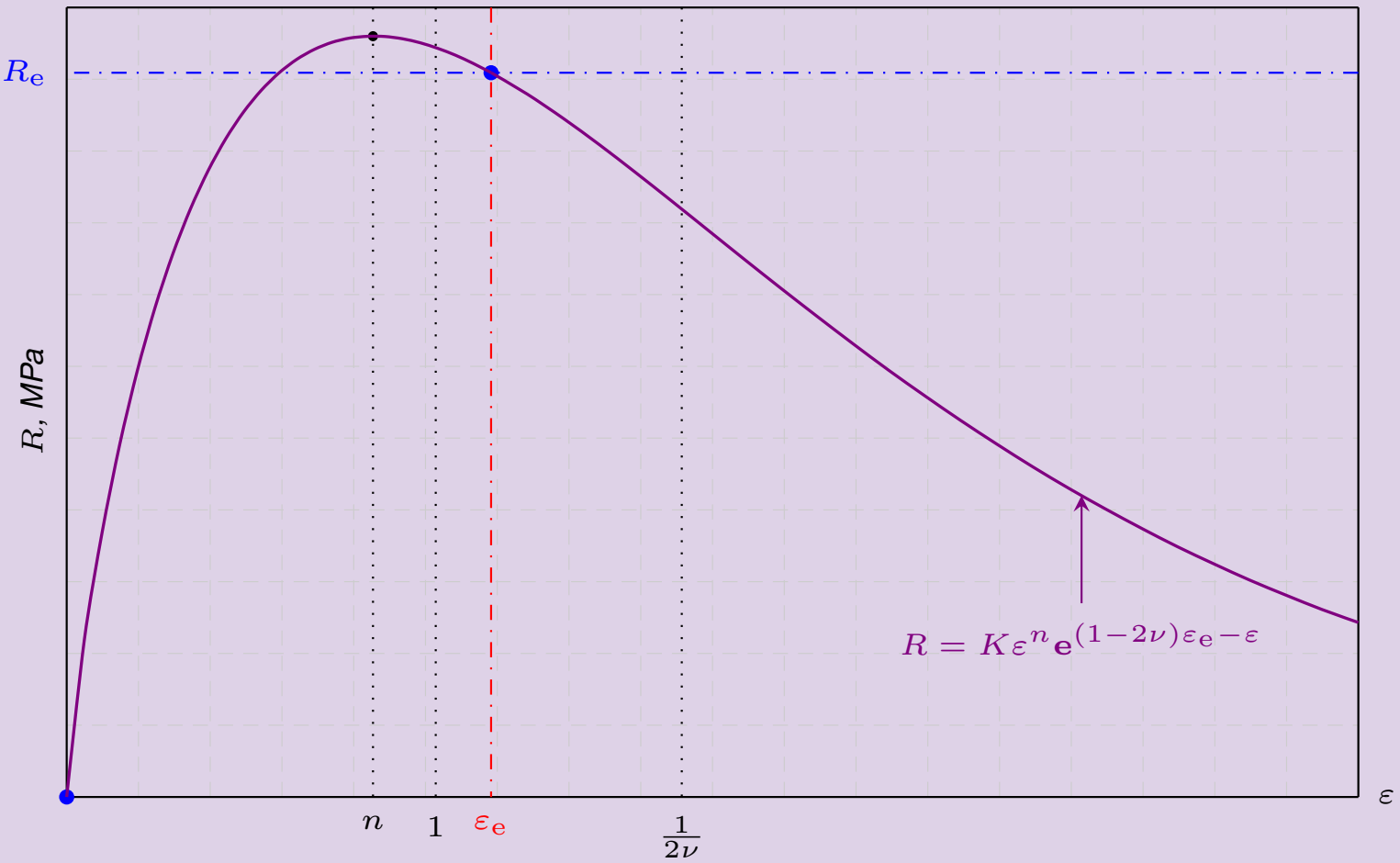


Le graphe de $\varepsilon \to R = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ part évidemment de l'origine

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

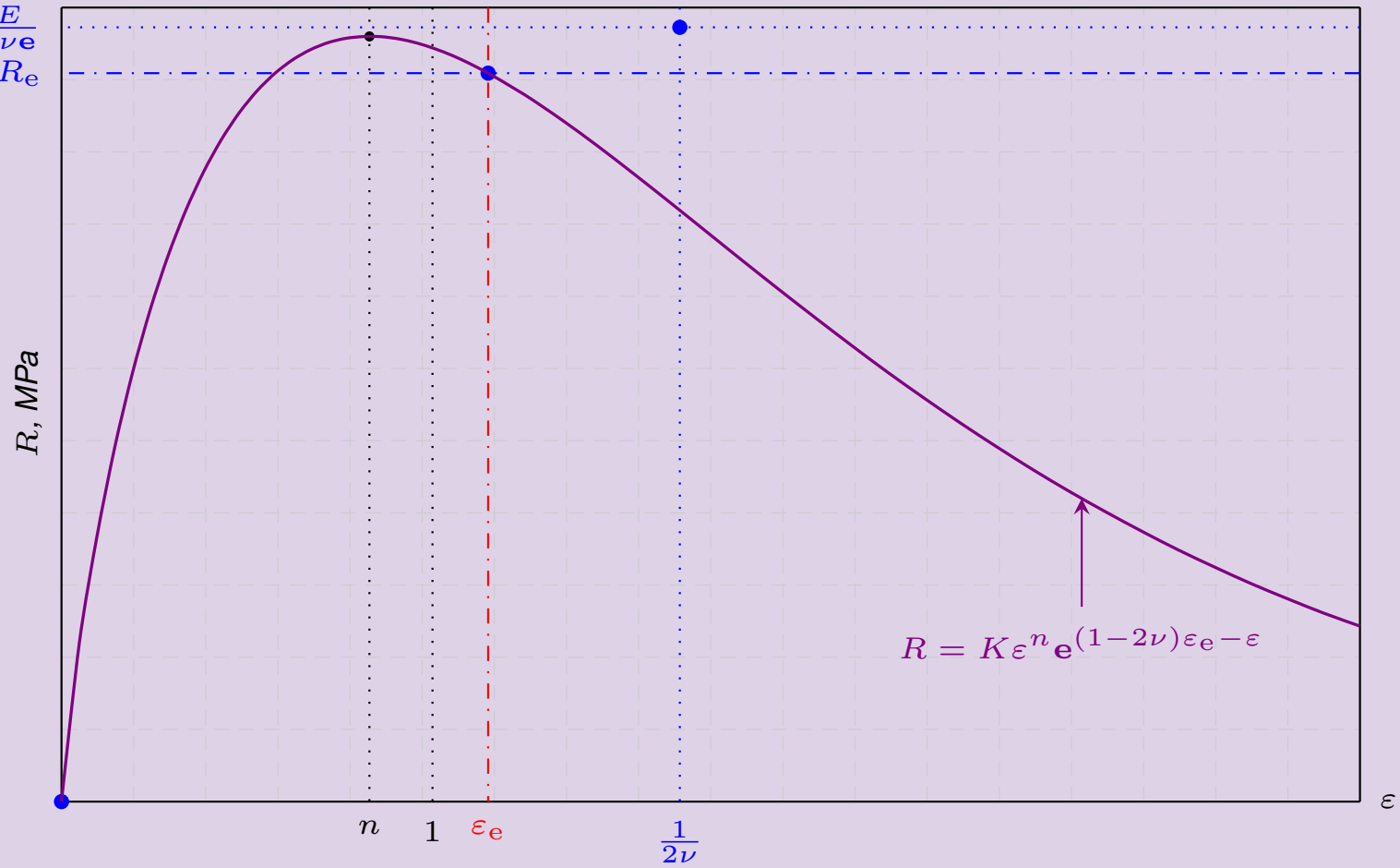
$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$



Mais où le graphe de $\varepsilon \to R = E\varepsilon \mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ atteint-il donc son maximum ?

Courbe de traction pour un matériau dur

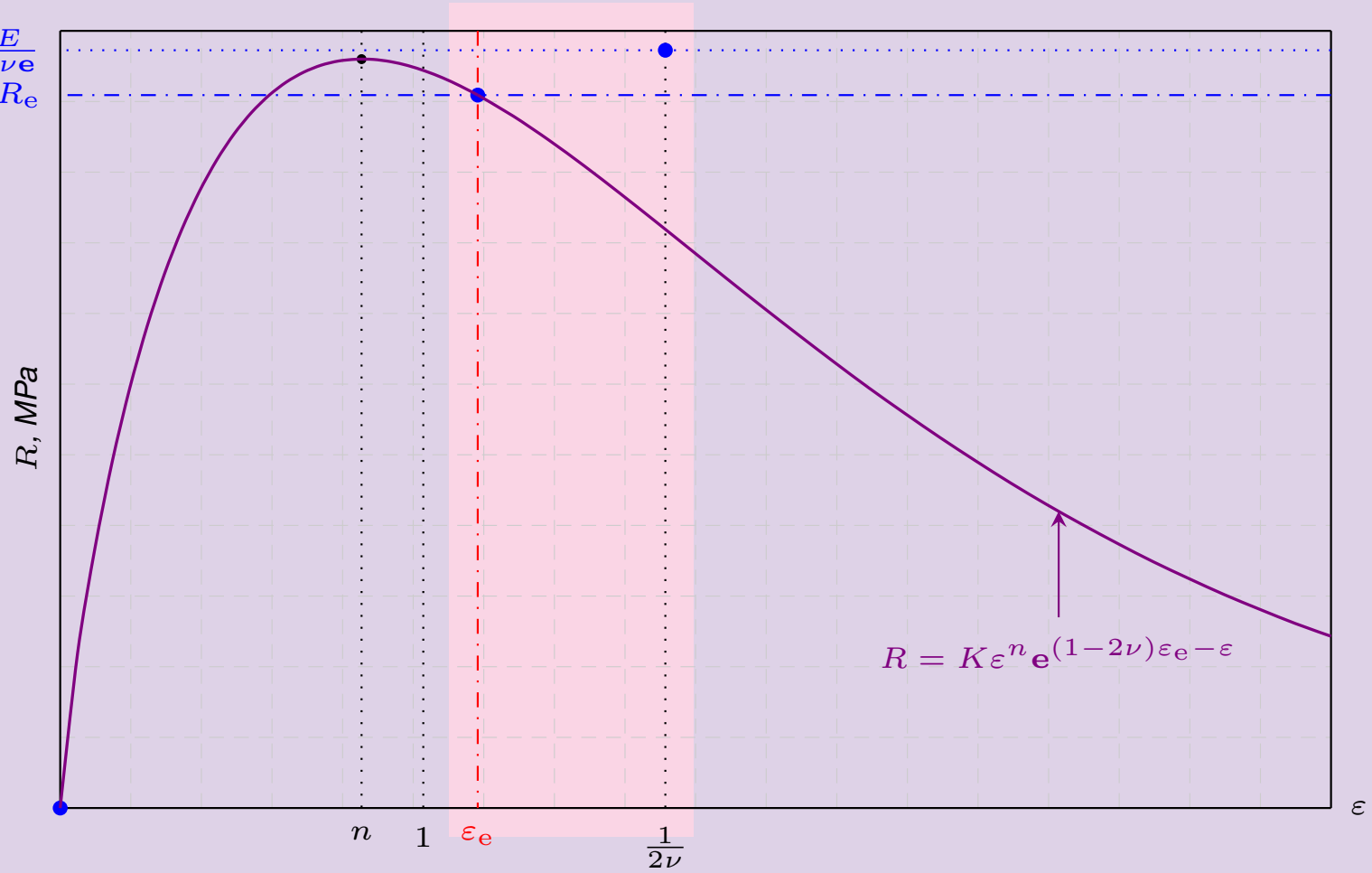
- *Lorsque $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ mais $\varepsilon_e > n$, la résistance est atteinte en limite élastique :*



On l'a calculé tout l'heure, c'est en $\varepsilon = \frac{1}{2\nu}$ et le maximum vaut $\frac{E}{2\nu e}$

Courbe de traction pour un matériau dur

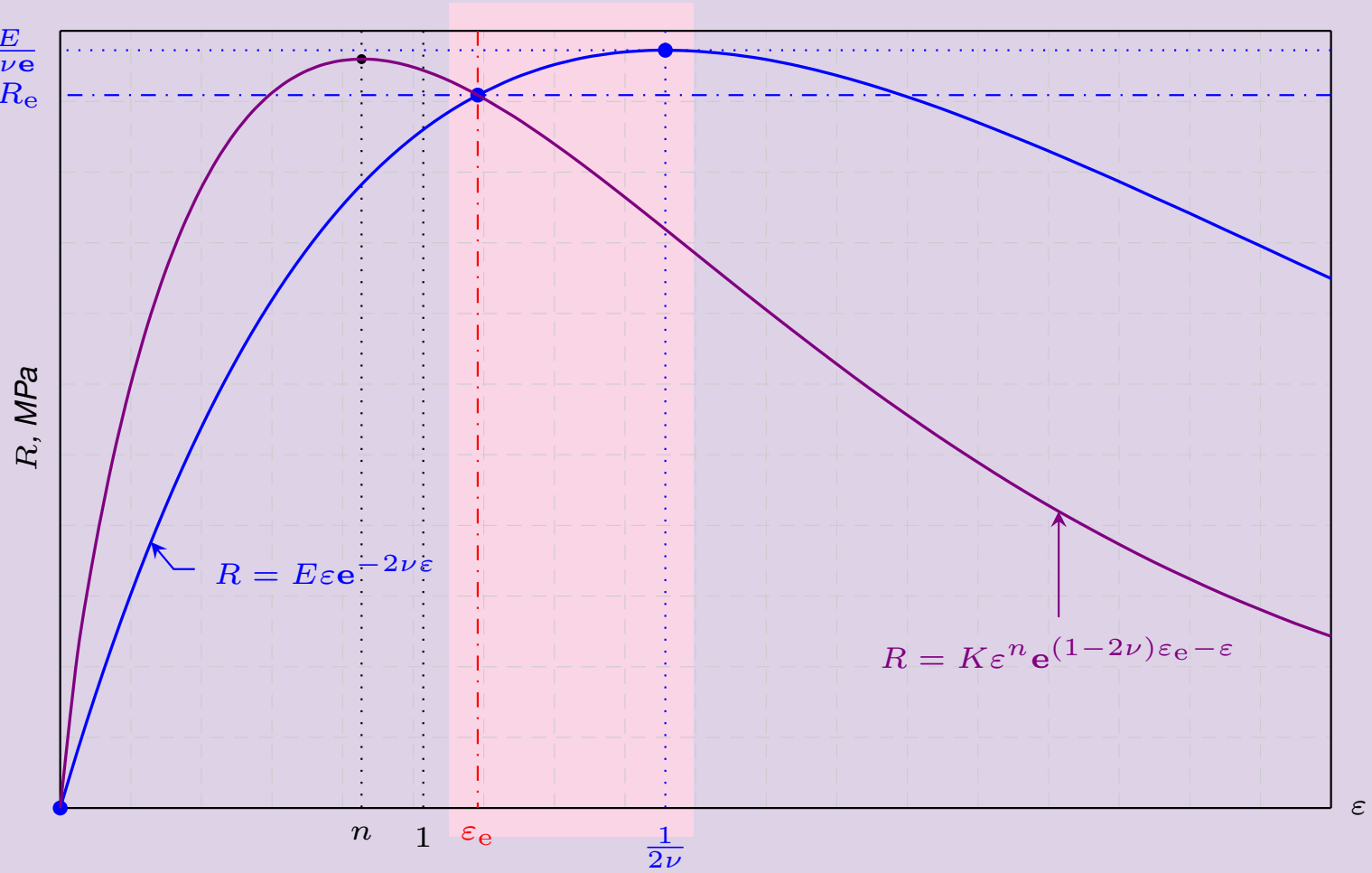
- *Lorsque* $\varepsilon_{\mathrm{e}} \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*



Observez cette fois que le maximum du graphe de $\varepsilon \to R = E\varepsilon\mathbf{e}^{-2\nu\varepsilon}$ est AU DELA de ε_{e} !

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ mais $\varepsilon_e > n$, la résistance est atteinte en limite élastique :*

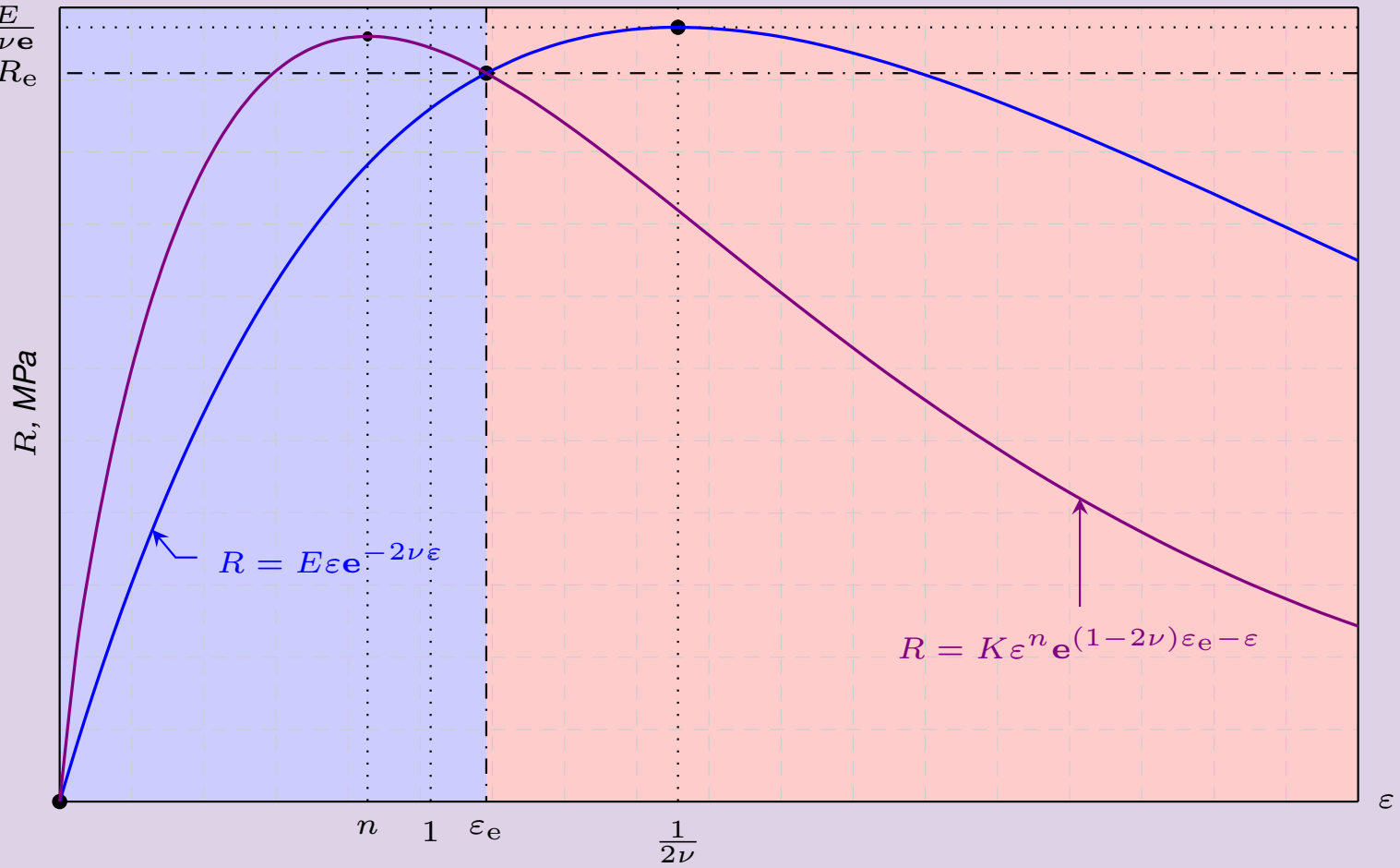


On peut maintenant dessier en bleu le graphe de $\varepsilon \to R = E\varepsilon e^{-2\nu\varepsilon}$ en respectant toutes ces contraintes

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$

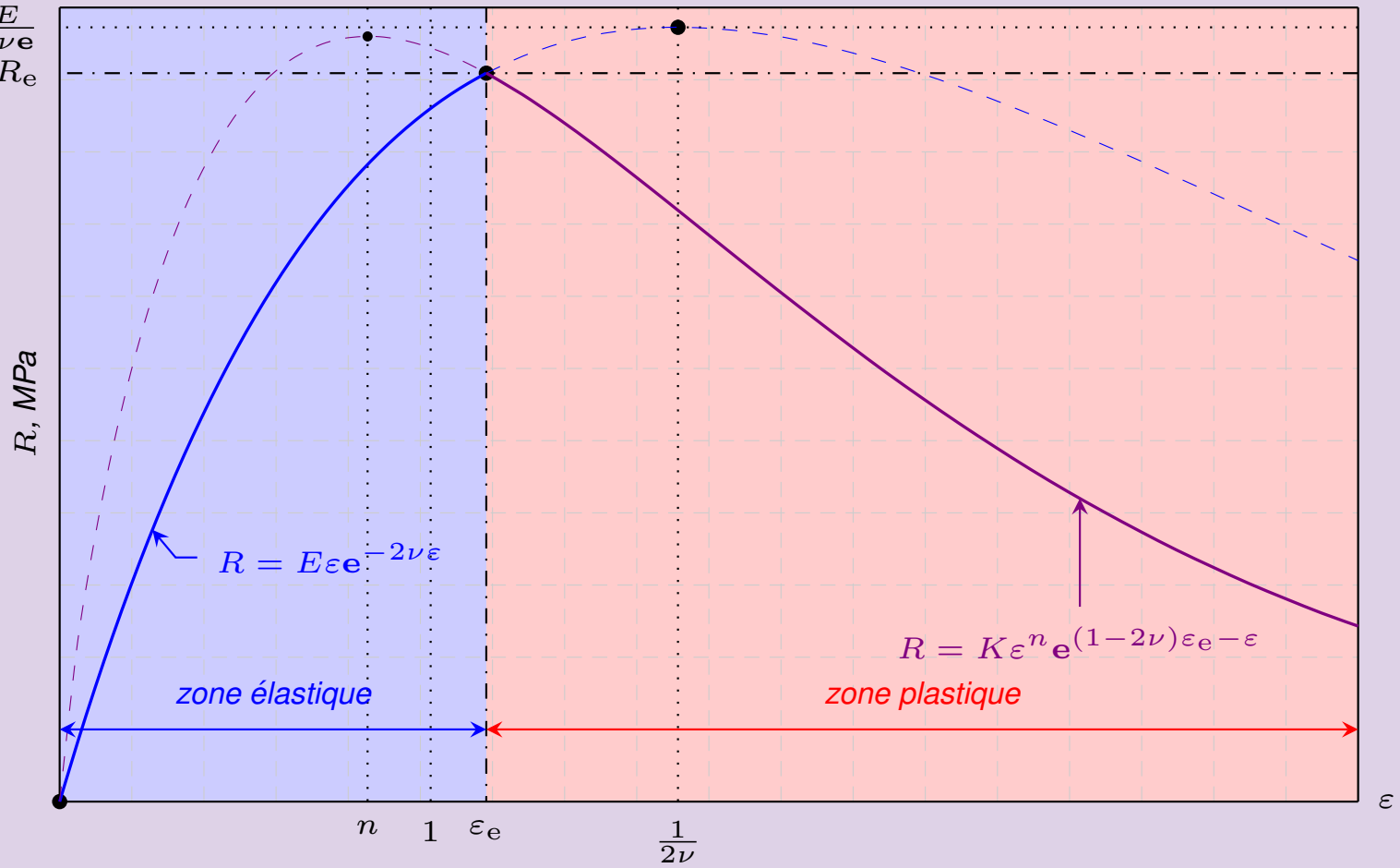


Contruisons alors la fonction de traction en tenant compte des régimes élastiques et plastiques

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$

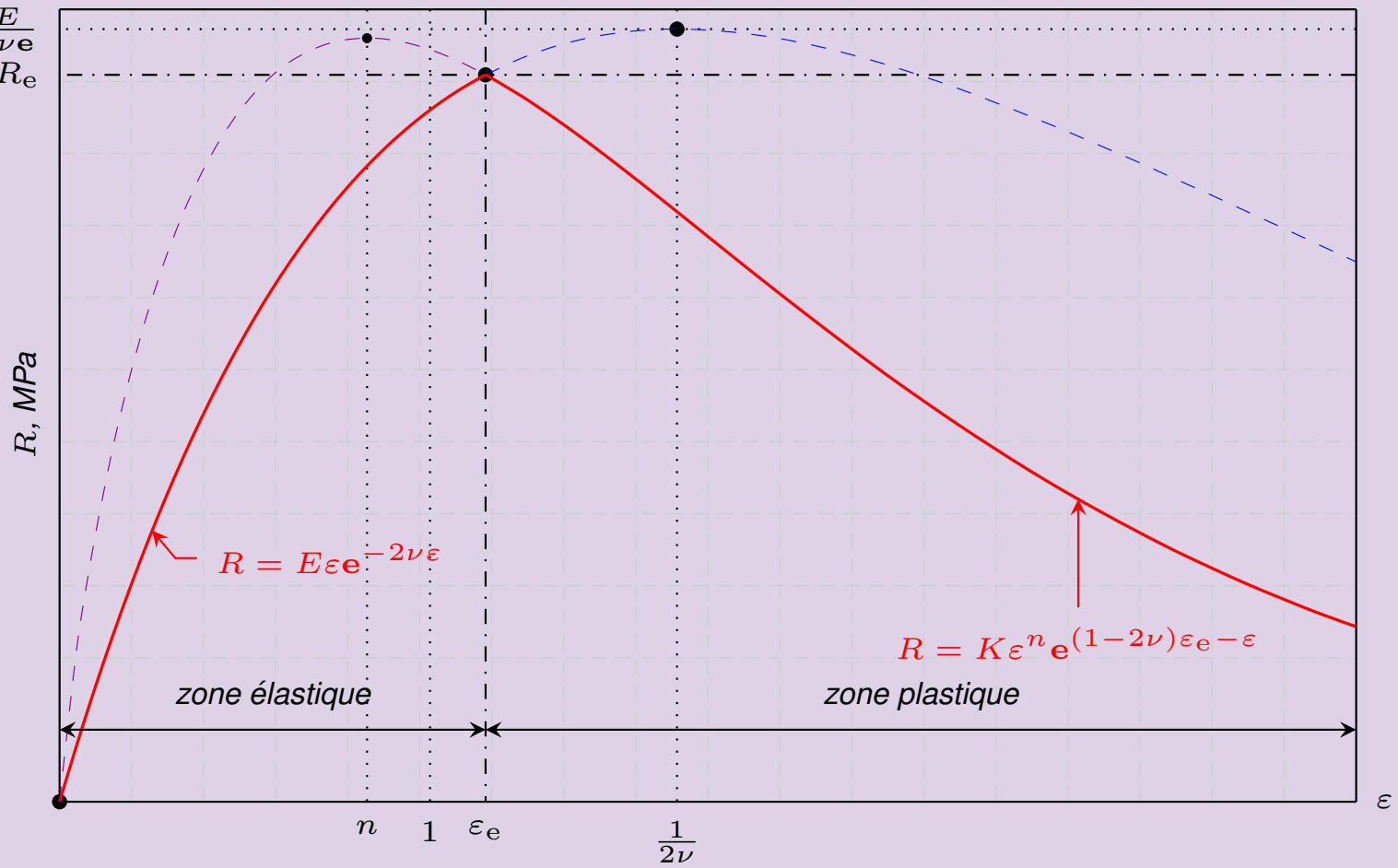


Contruisons alors la fonction de traction en tenant compte des régimes élastiques et plastiques

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ mais $\varepsilon_e > n$, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$

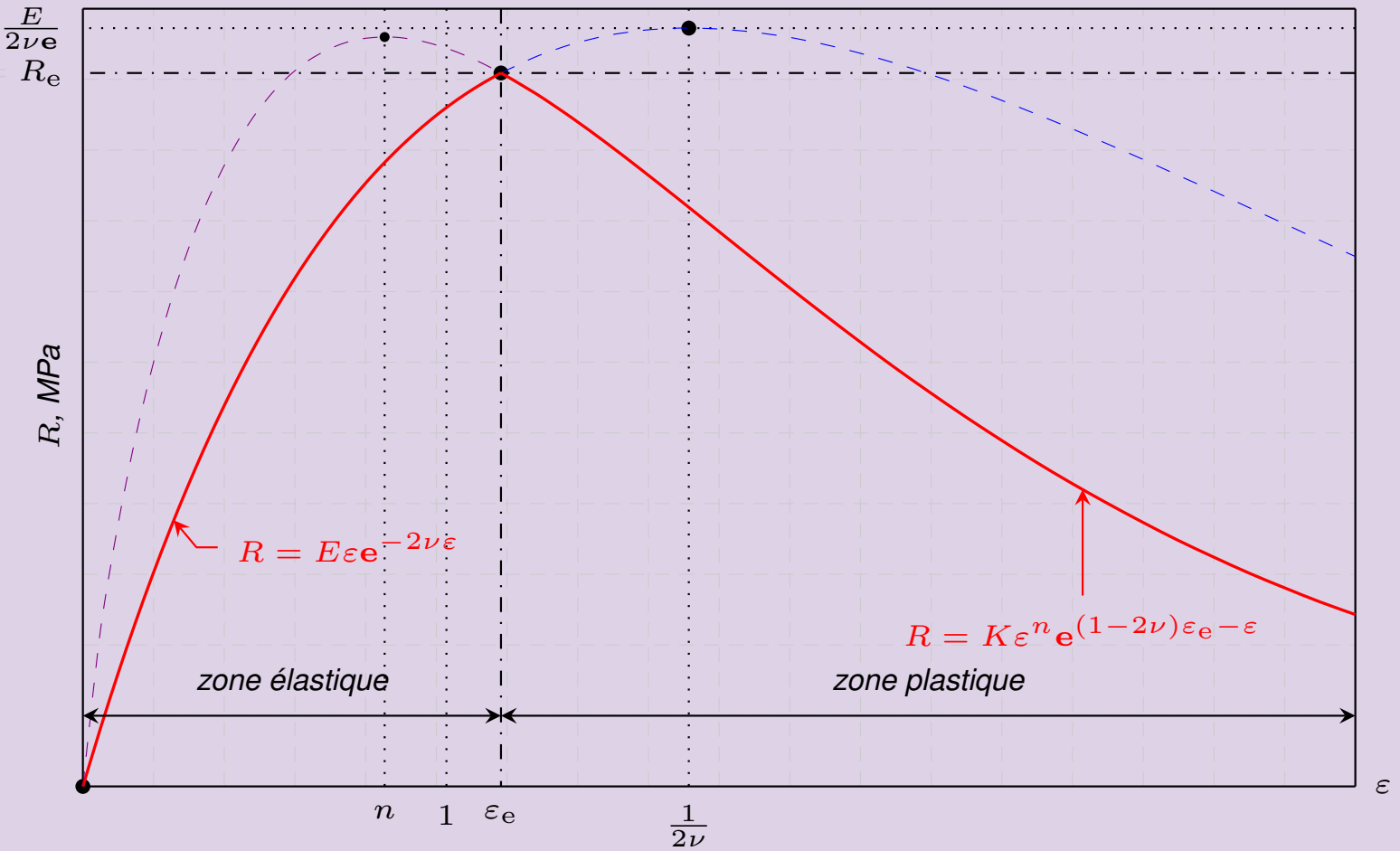


La courbe de traction de notre matériau est donc la courbe présentée ici en rouge !

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

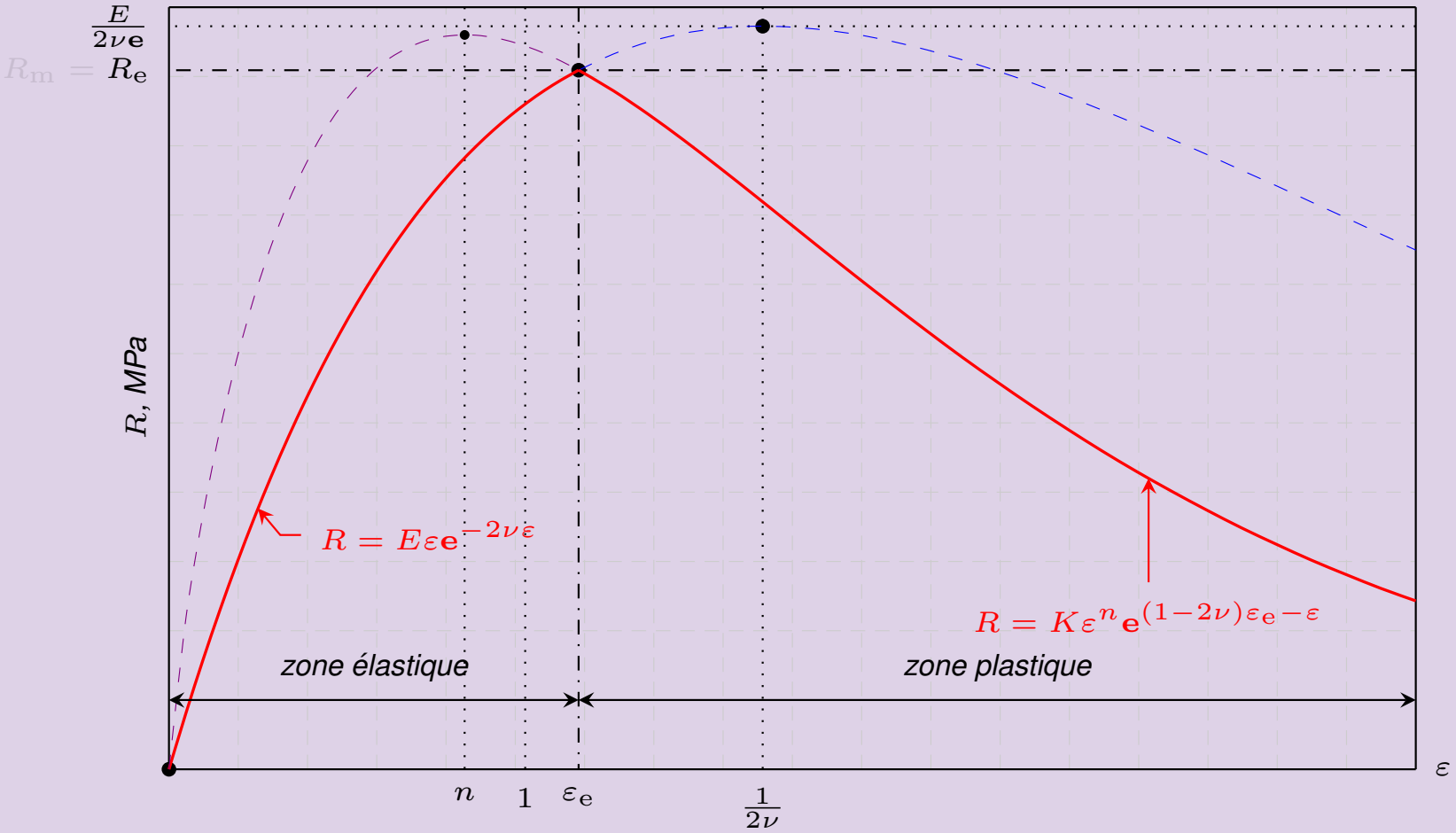
$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$



Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$

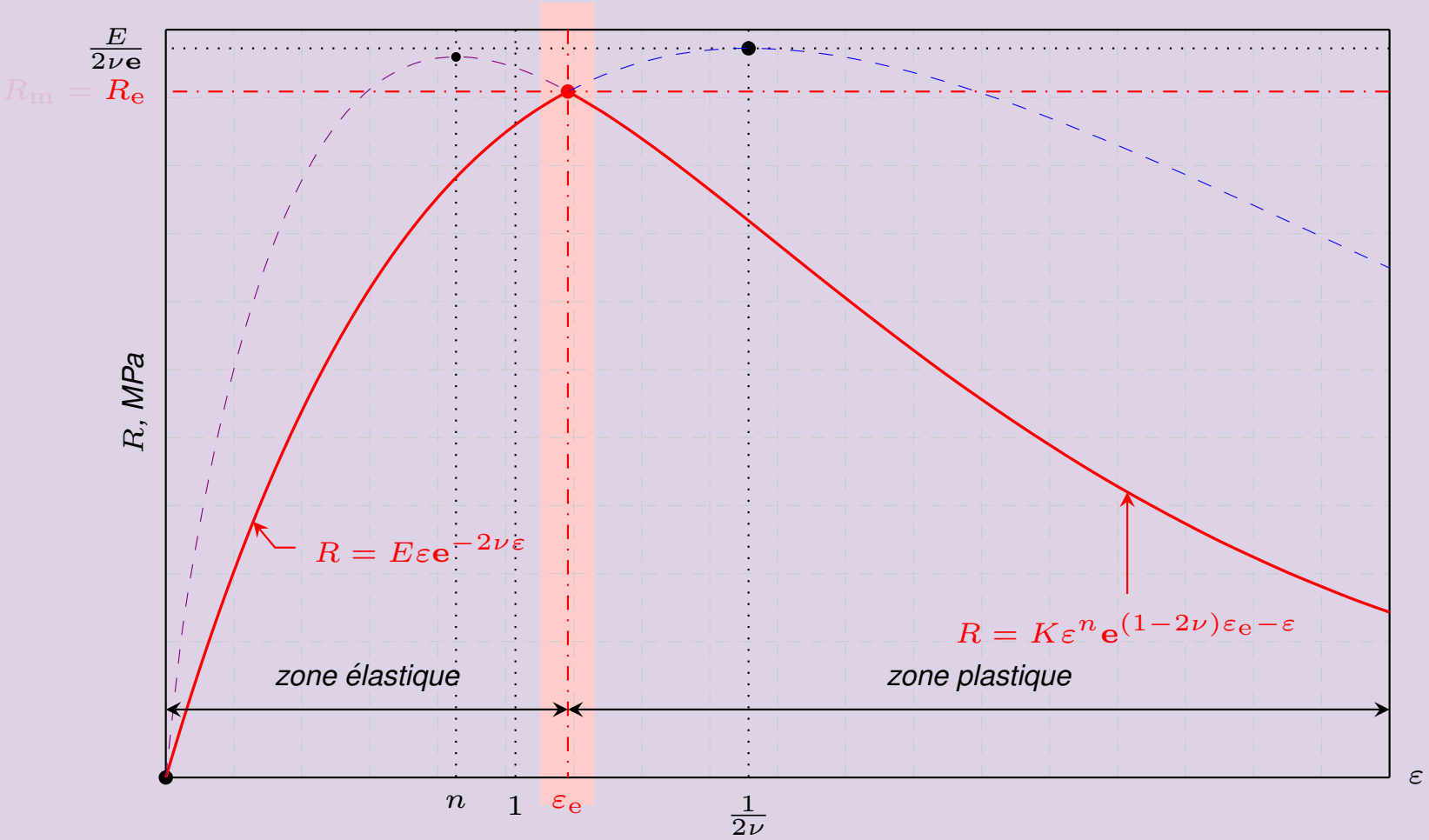


Il s'agit maintenant d'étudier LA RESISTANCE, soit de localiser le maximum de cette courbe !

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad et \quad R_m = R_e.$$

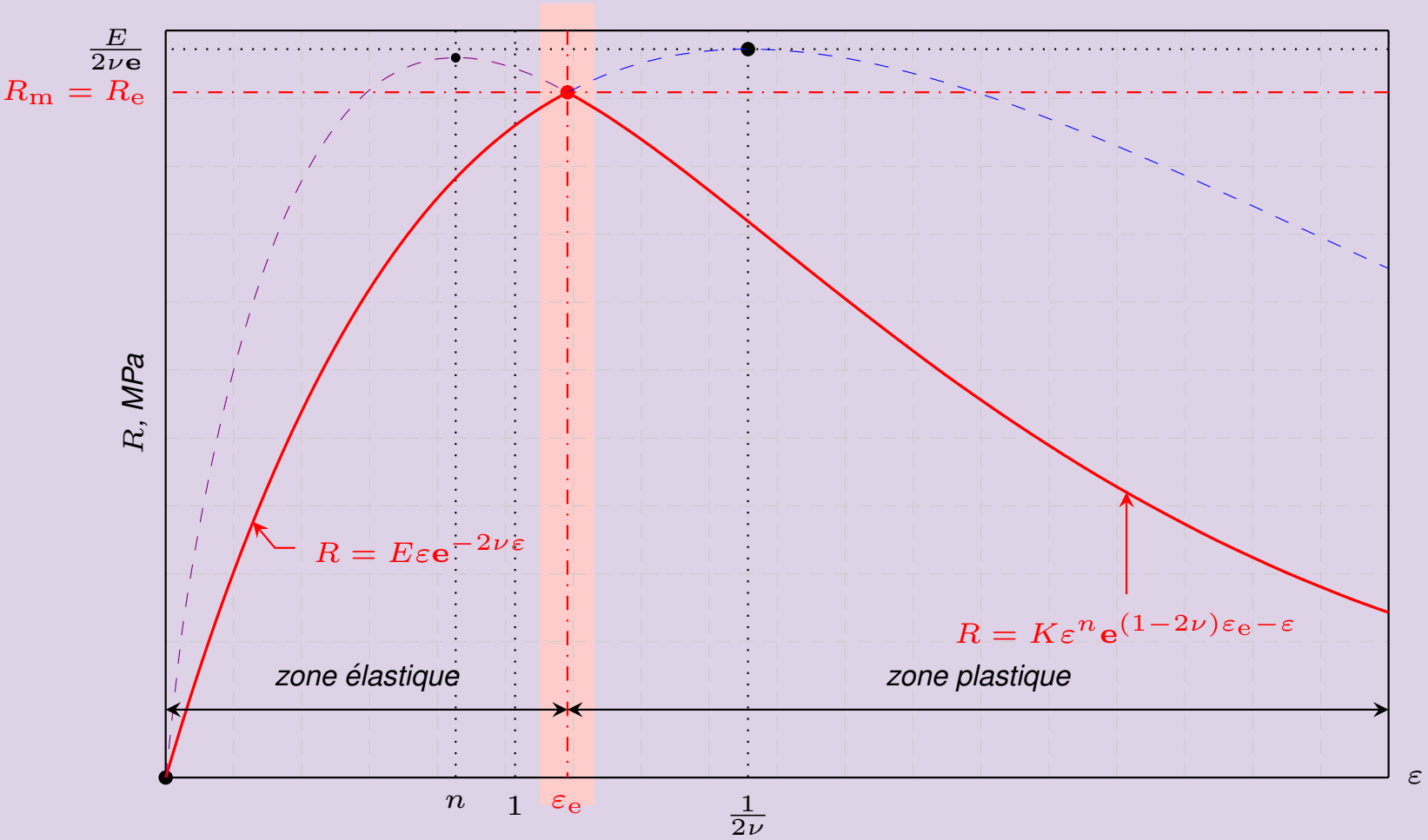


On observe que son maximum se localise au dessus de ε_e à la hauteur de la limite élastique R_e

Courbe de traction pour un matériau dur

- *Lorsque* $\varepsilon_e \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_e > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

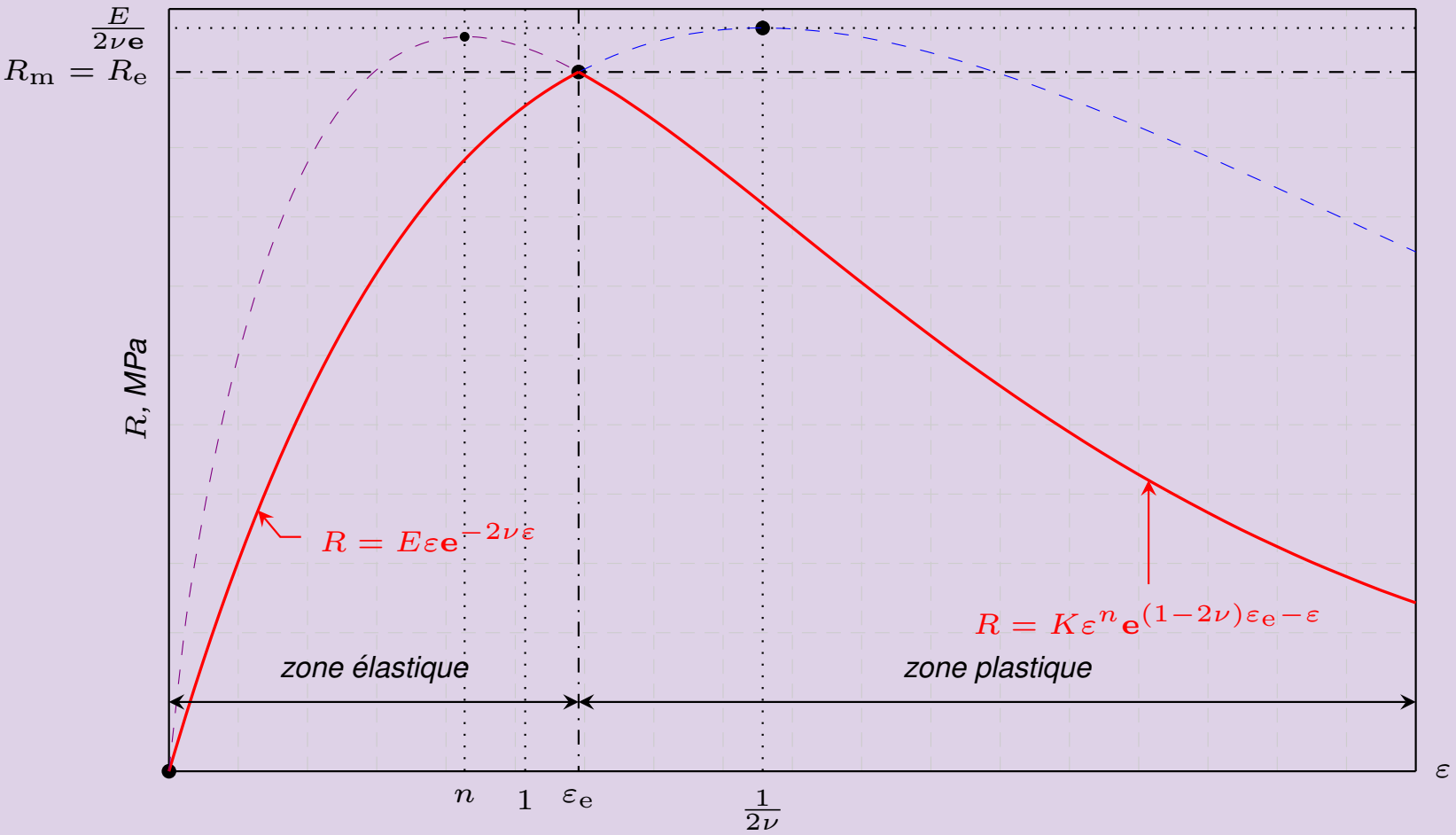
$$\varepsilon_m = \varepsilon_e \quad \text{et} \quad R_m = R_e.$$



Courbe de traction pour un matériau dur

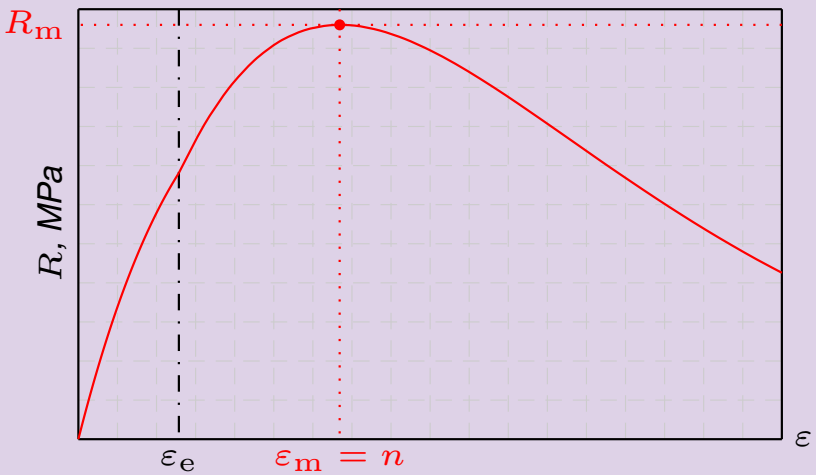
- *Lorsque* $\varepsilon_{\mathrm{e}} \leq 1/2\nu$ *mais* $\varepsilon_{\mathrm{e}} > n$*, la résistance est atteinte en limite élastique :*

$$\varepsilon_{\mathrm{m}} = \varepsilon_{\mathrm{e}} \quad \textit{et} \quad R_{\mathrm{m}} = R_{\mathrm{e}}.$$



On peut résumer les différents types de courbe de traction possibles dans le contexte Ludwik-Considère

Courbes de traction (Ludwik-Considère)



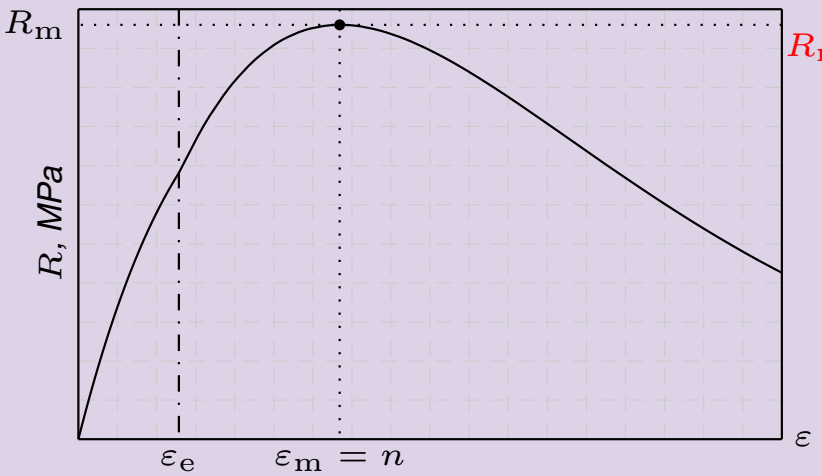
cas général (matériau formable)

matériau fragile

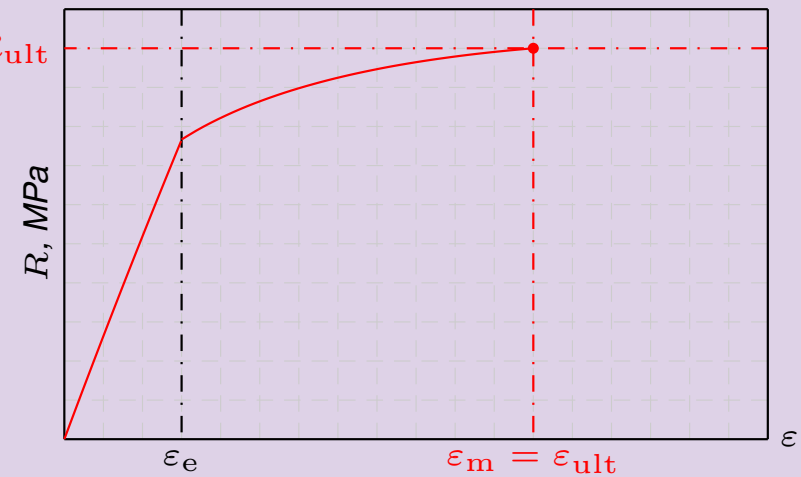
matériau (extra-)dur

matériau dur

Courbes de traction (Ludwik-Considère)



cas général (matériau formable)

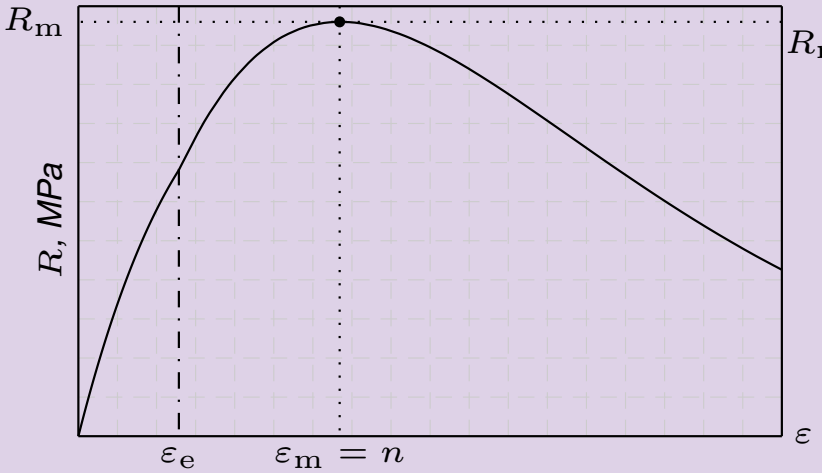


matériau fragile

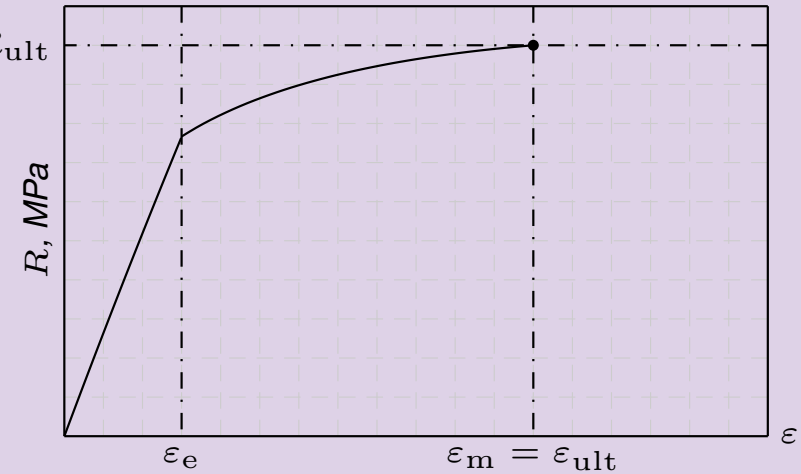
matériau (extra-)dur

matériau dur

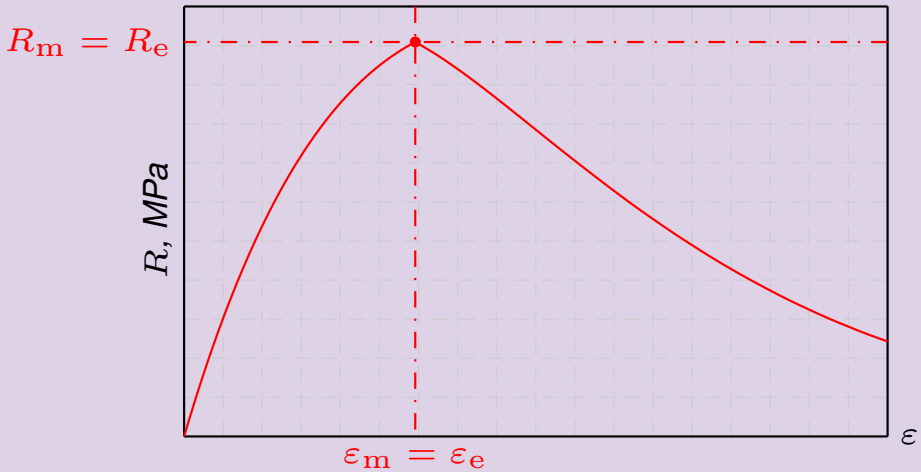
Courbes de traction (Ludwik-Considère)



cas général (matériau formable)



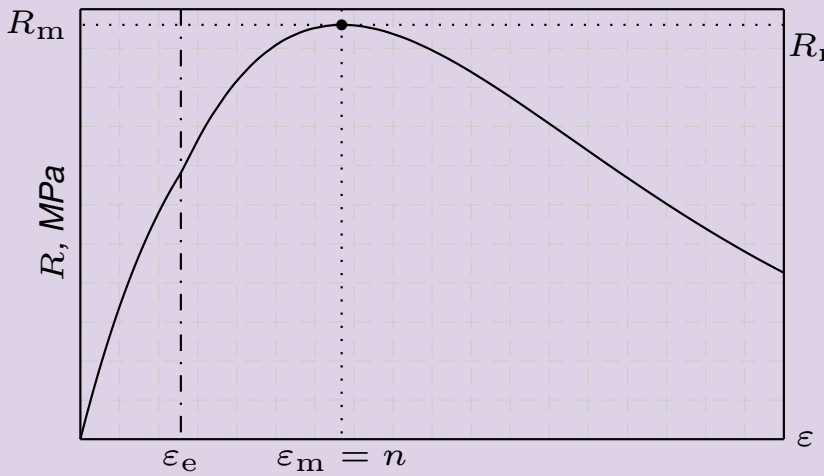
matériau fragile



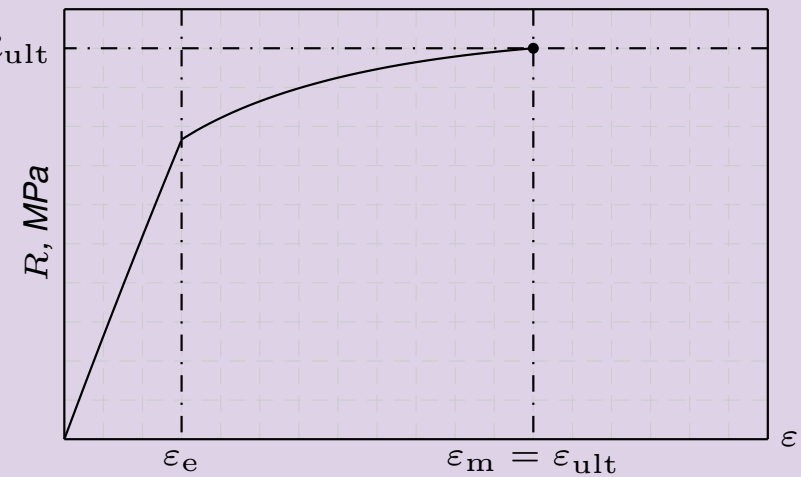
matériau dur

matériau (extra-)dur

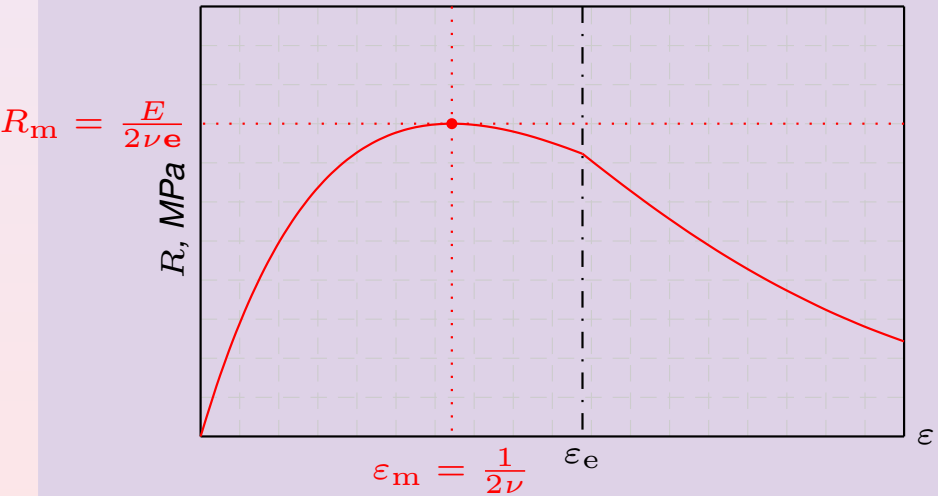
Courbes de traction (Ludwik-Considère)



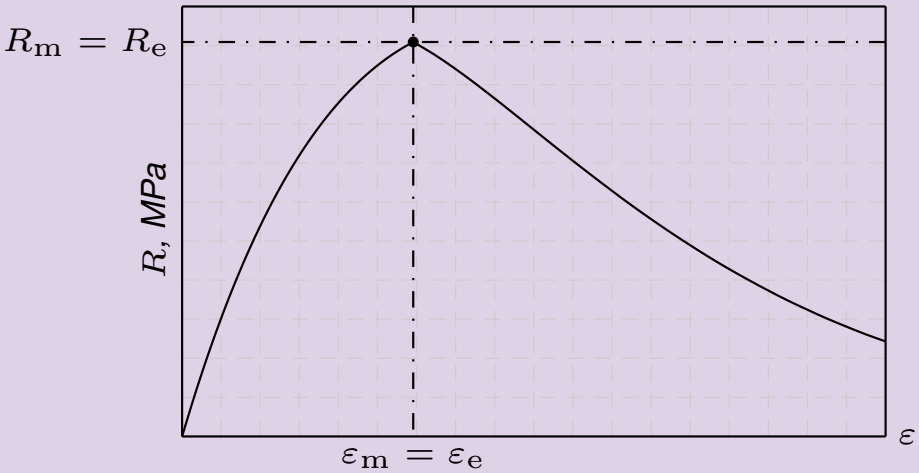
cas général (matériau formable)



matériau fragile

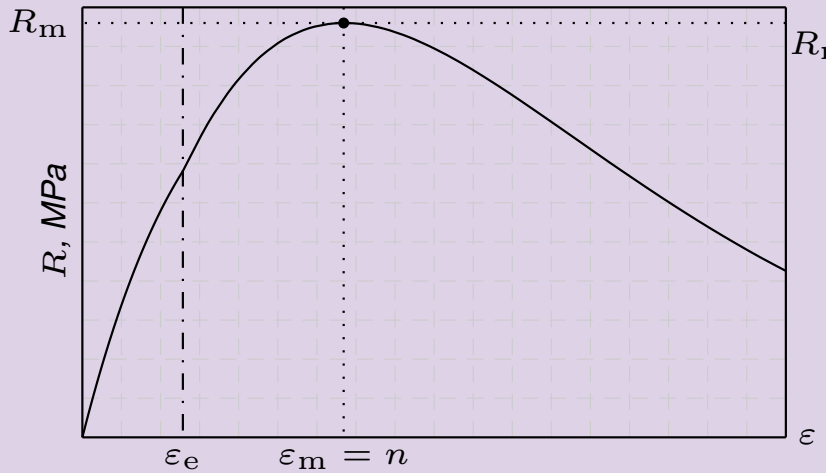


matériau (extra-)dur

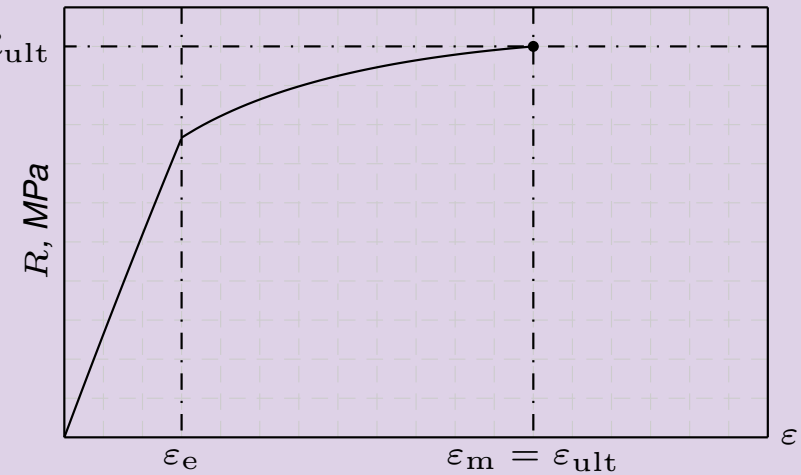


matériau dur

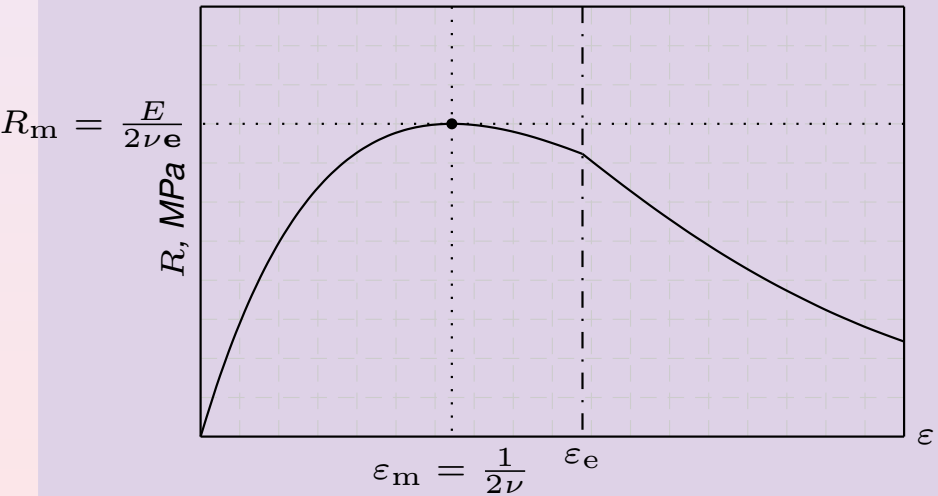
Courbes de traction (Ludwik-Considère)



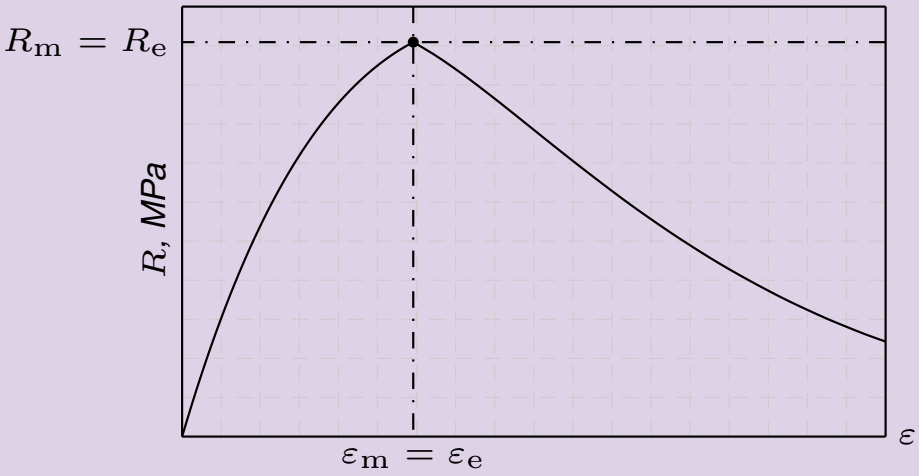
cas général (matériau formable)



matériau fragile



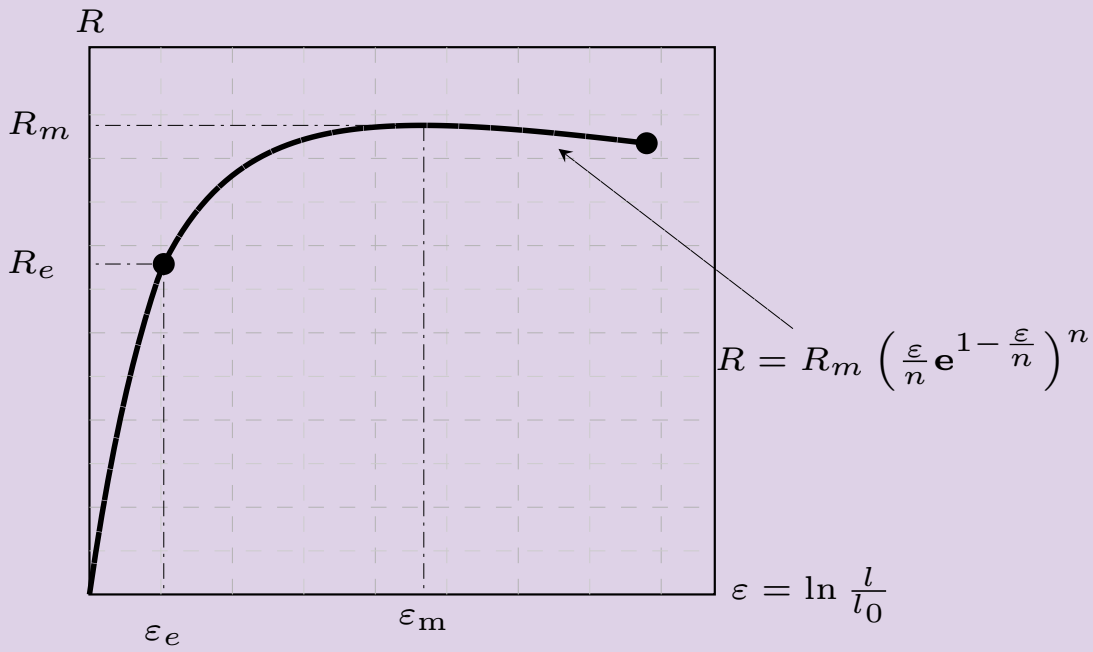
matériau (extra-)dur



matériau dur

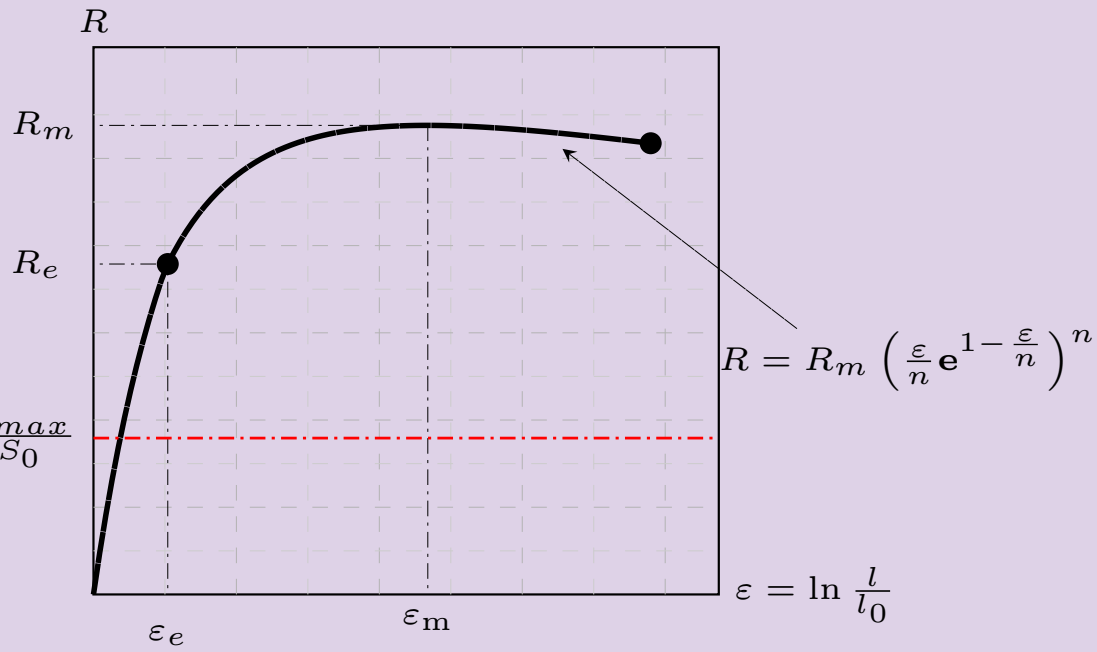
◂ retour

Inversion de la fonction de traction



- *Le taux de déf. atteignable ε_{max} avec une charge adaptée F_{max} satisfait :*

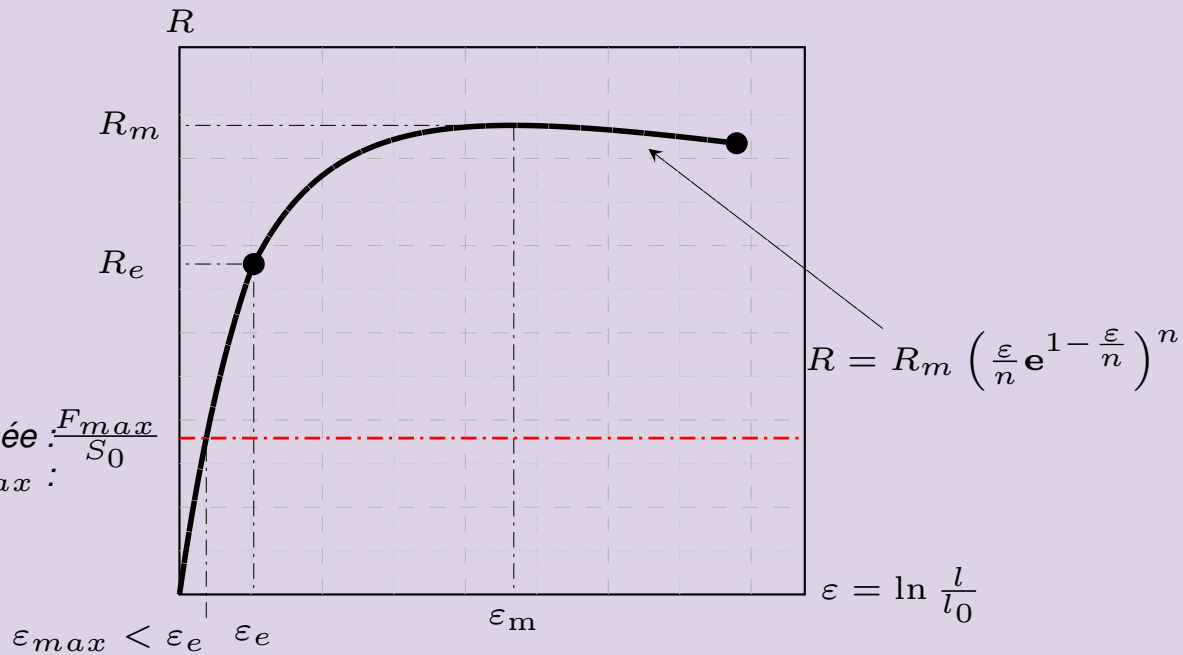
Inversion de la fonction de traction



la charge est sous-dimensionnée : $\frac{F_{max}}{S_0}$
all. possible jusqu'au tx ε_{max} *:*

- *Le taux de déf. atteignable* ε_{max} *avec une charge adaptée* F_{max} *satisfait :*

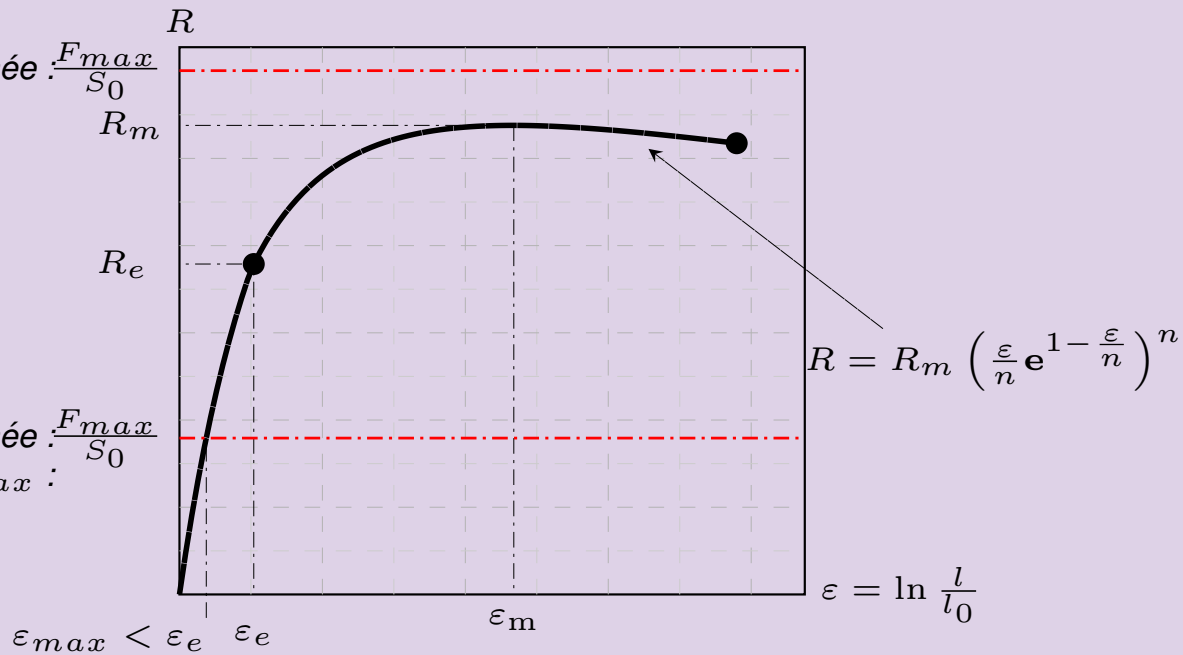
Inversion de la fonction de traction



la charge est sous-dimensionnée : $\frac{F_{max}}{S_0}$
all. possible jusqu'au tx ε_{max} *:*

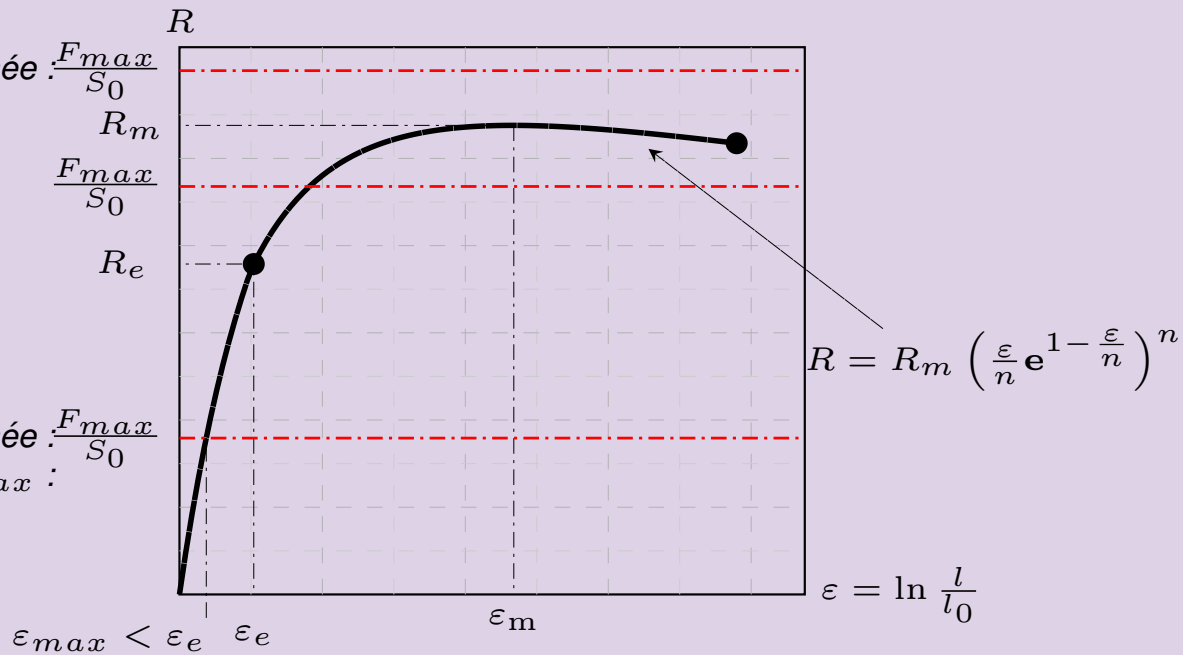
- *Le taux de déf. atteignable* ε_{max} *avec une charge adaptée* F_{max} *satisfait :*

Inversion de la fonction de traction



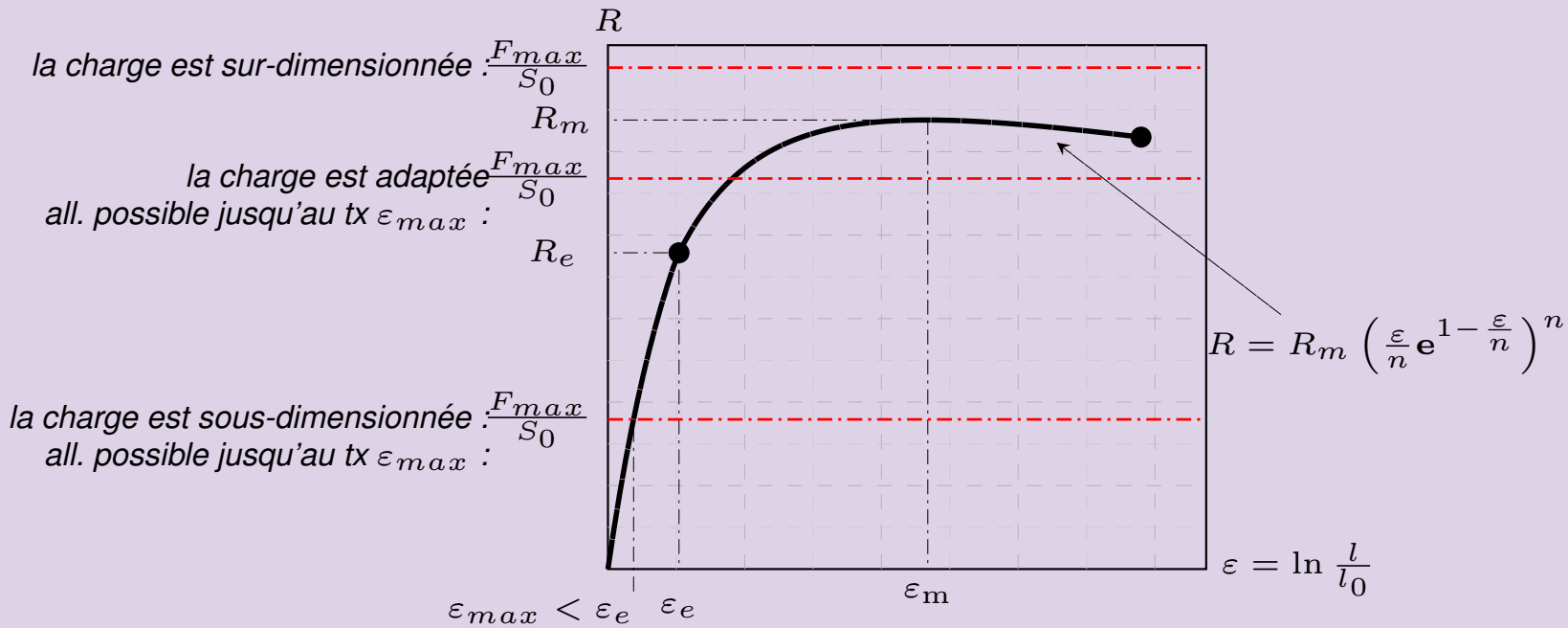
- *Le taux de déf. atteignable ε_{max} avec une charge adaptée F_{max} satisfait :*

Inversion de la fonction de traction



- *Le taux de déf. atteignable ε_{max} avec une charge adaptée F_{max} satisfait :*

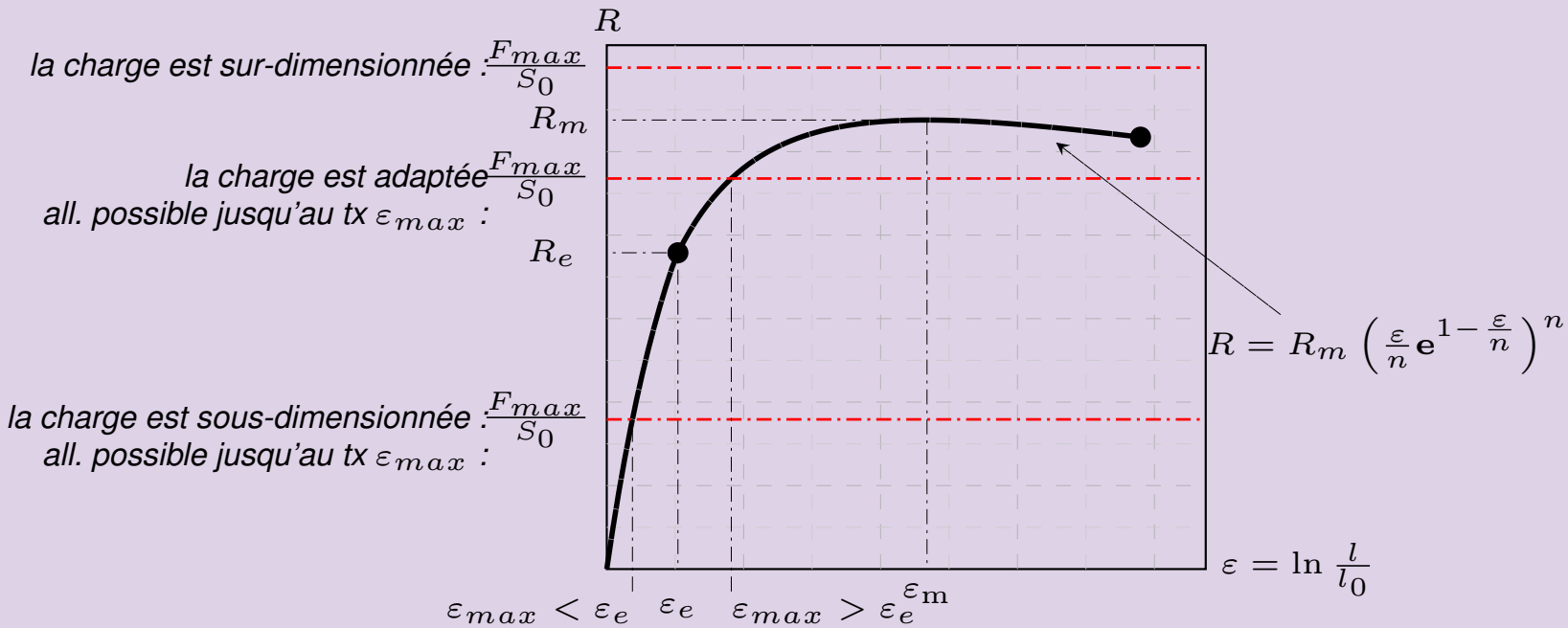
Inversion de la fonction de traction



- *Le taux de déf. atteignable ε_{max} avec une charge adaptée F_{max} satisfait :*

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon_{max}}{n} e^{1-\frac{\varepsilon_{max}}{n}}\right)^n$$

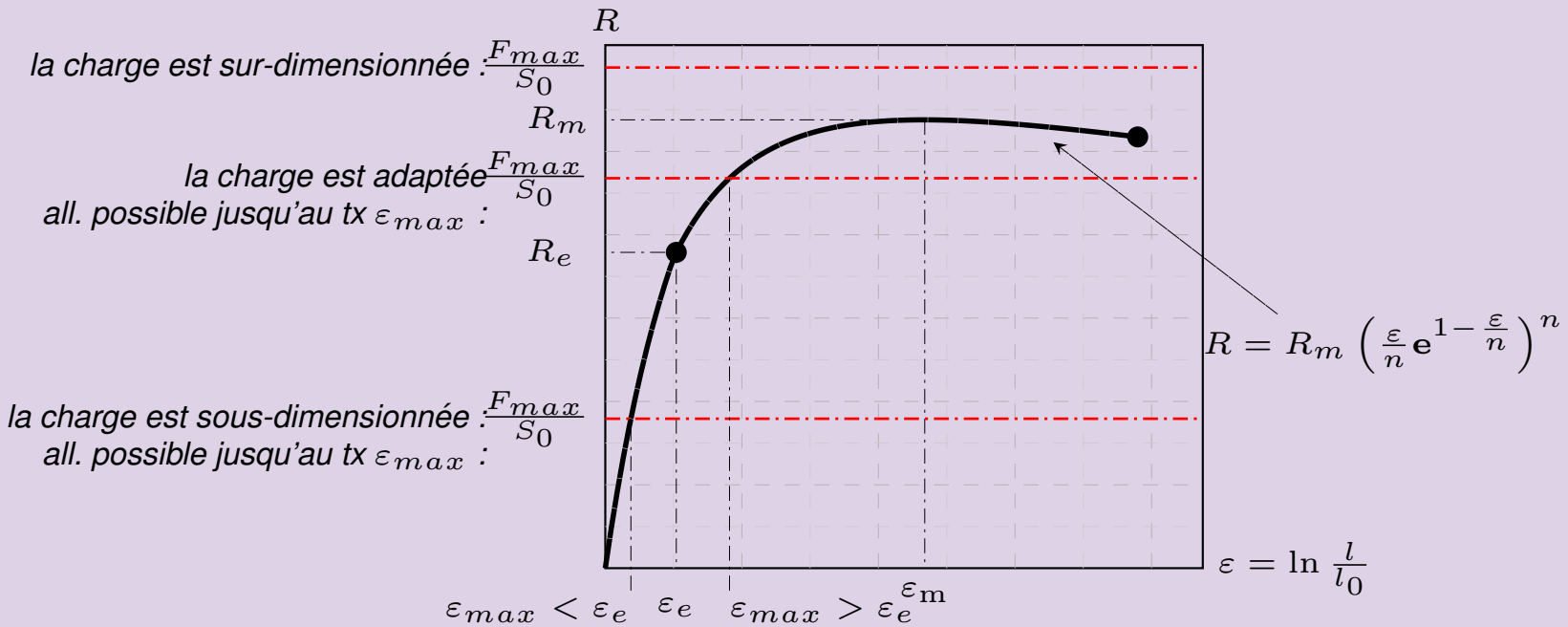
Inversion de la fonction de traction



- *Le taux de déf. atteignable ε_{max} avec une charge adaptée F_{max} satisfait :*

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon_{max}}{n} e^{1-\frac{\varepsilon_{max}}{n}}\right)^n$$

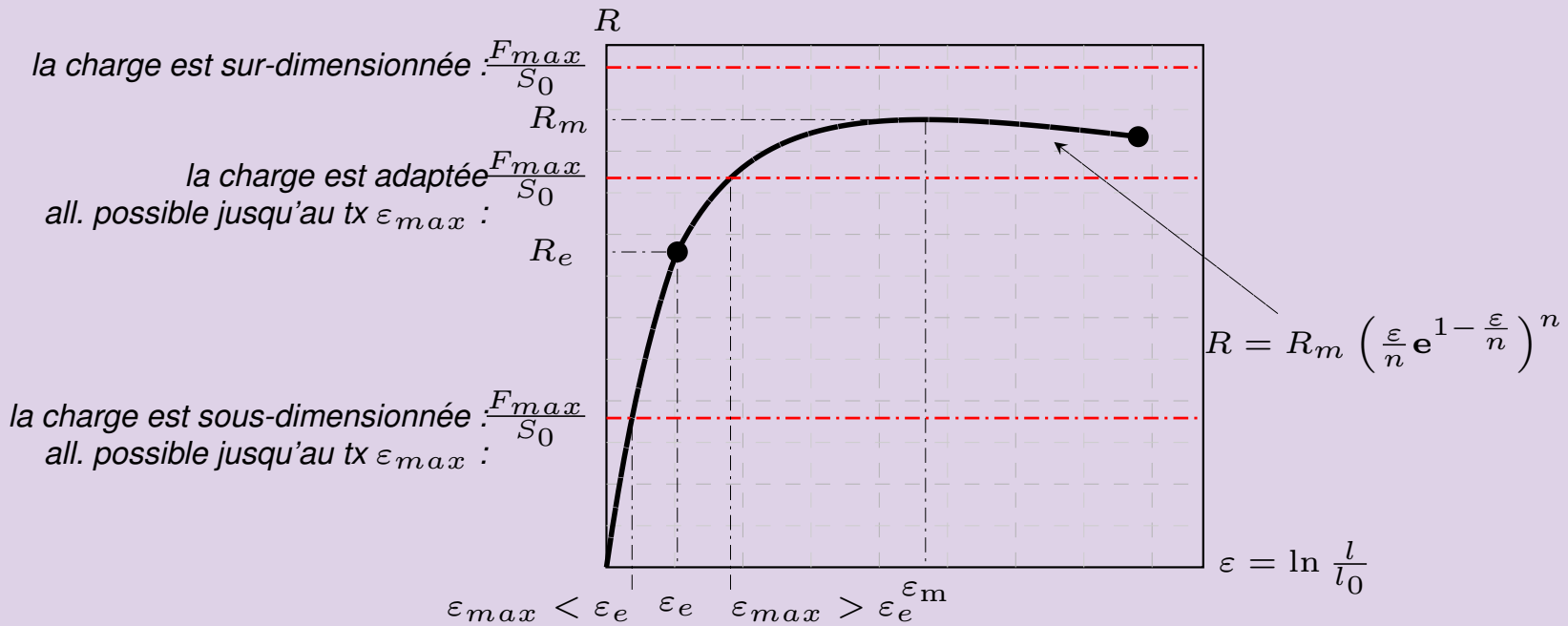
Inversion de la fonction de traction



- *Le taux de déf. atteignable ε_{max} avec une charge adaptée F_{max} satisfait :*

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon_{max}}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon_{max}}{n}}\right)^n . \quad \textit{(Equation de la déformation maximale)}$$

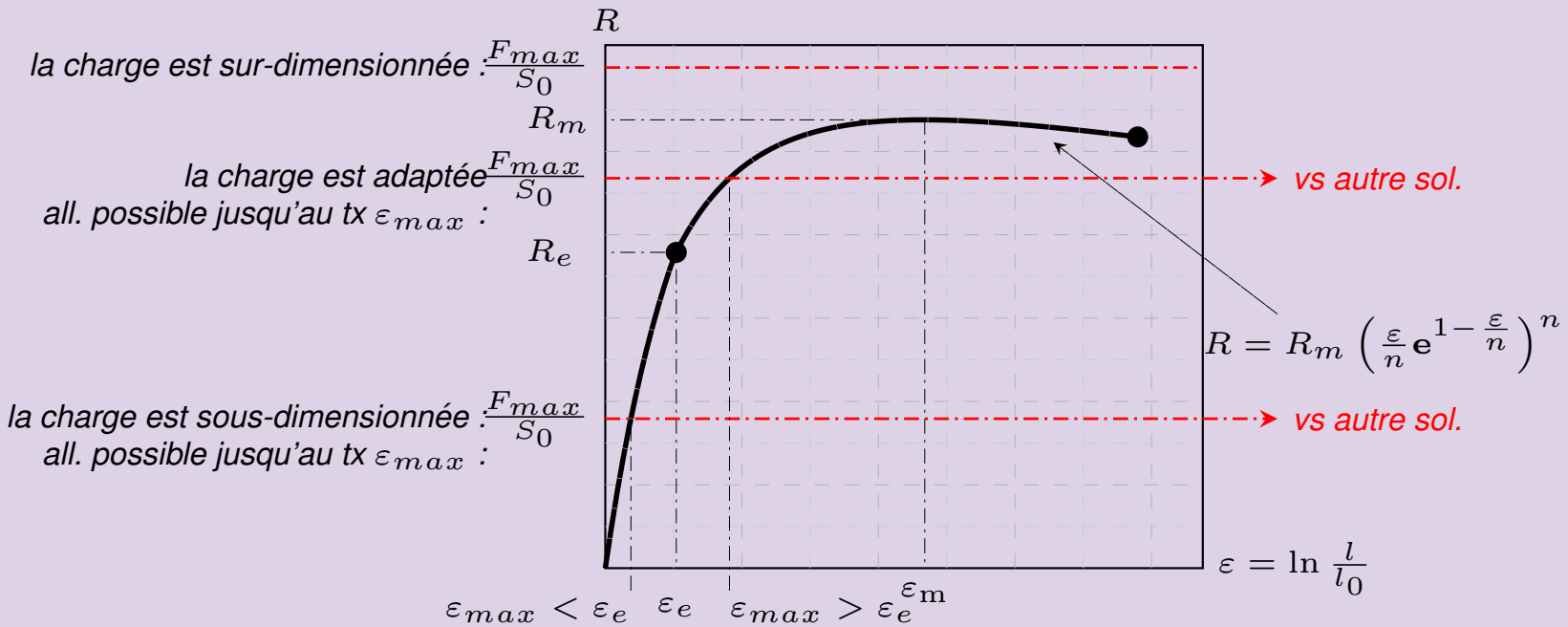
Inversion de la fonction de traction



- *Le taux de déf. atteignable ε_{max} avec une charge adaptée F_{max} satisfait :*

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon_{max}}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon_{max}}{n}}\right)^n . \quad \textbf{(Equation de la déformation maximale)}$$

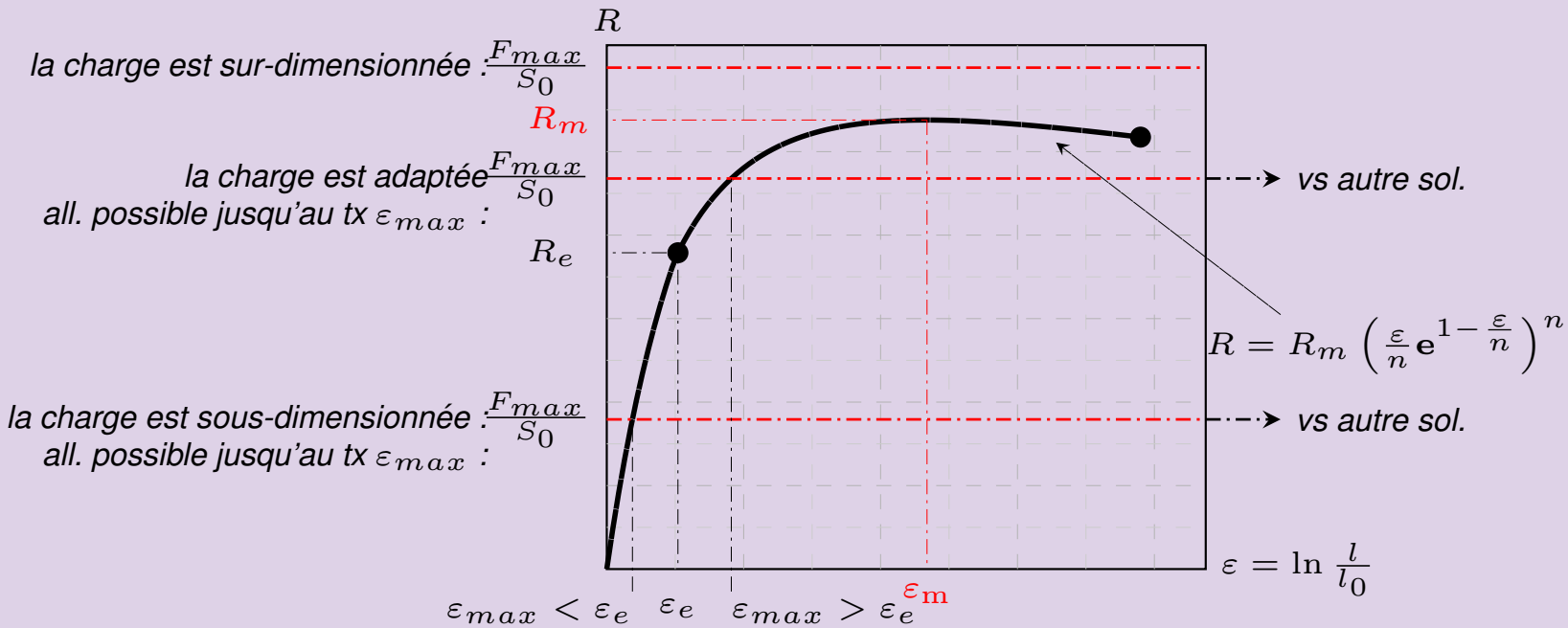
Inversion de la fonction de traction



- *Le taux de déf. atteignable ε_{max} avec une charge adaptée F_{max} satisfait :*

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon_{max}}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon_{max}}{n}}\right)^n . \quad \textbf{(Equation de la déformation maximale)}$$

Inversion de la fonction de traction



- *Le taux de déf. atteignable ε_{max} avec une charge adaptée F_{max} satisfait :*

$$\frac{F_{max}}{S_0} = R_m \left(\frac{\varepsilon_{max}}{n} \mathbf{e}^{1-\frac{\varepsilon_{max}}{n}}\right)^n . \quad \textbf{(Equation de la déformation maximale)}$$

Il existe des solutions parasites à l'équation de la déformation maximale. Celle qui nous intéresse est $< \varepsilon_m$

◂ retour

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90\,kN$.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450\,MPa$	$R_m = 904.2\,MPa$	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*



Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)***

STO	$*$	exp	RCL							

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)***

STO	$*$	exp	RCL							

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	$*$	exp	RCL								

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	$*$	exp	RCL	0.	0	4	7	3	3	0	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	7	3	3	0	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	7	3	3	0	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	1.	0	4	8	4	6	8	2

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	1.	0	4	8	4	6	8	2

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	6	2	4	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	6	2	4	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	6	2	4	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	3	8	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	$*$	exp	RCL	0.	0	4	9	7	3	8	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	3	8	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	4	4	0

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	$*$	exp	RCL	0.	0	4	9	7	4	4	0

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	4	4	0

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	4	4	2

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)***

$$\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$$

STO	$*$	exp	RCL	0.	0	4	9	7	4	4	2

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	4	4	2

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	4	4	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	4	4	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	4	4	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	*	*exp*	*RCL*	0.	0	4	9	7	4	4	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	$*$	exp	RCL	0.	0	4	9	7	4	4	3

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow$ $\alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	$*$	exp	RCL	0.	0	4	9	7	4	4	3	$\longrightarrow$	$\bar{x}$

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow \alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	$*$	exp	RCL	0.	0	4	9	7	4	4	3

$\longrightarrow \bar{x}$

$\Rightarrow \varepsilon = n\bar{x}$

Calcul des taux de déformation, cas plastique

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow \alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

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

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow \alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

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

- *On reçoit un matériau recuit de caractéristiques connues.*
  - *Il faut calculer le taux de déformation réel d'une barre de section $S_0 = 150.0\,\mathrm{mm}^2$ soumise à une force de traction de $F = 90$ kN.*

limite élastique	***résistance***	***coeff. Poisson***	***coeff. écr.***
$R_e = 450$ *MPa*	$R_m = 904.2$ *MPa*	$\nu = 0.400$	$n = 0.2$

Tab. 1 *Données relatives au matériau*

$\frac{F}{S_0} = 600.0$ *MPa* $\geq R_e$ ***(cas plastique)*** $\Rightarrow \alpha = \frac{1}{\mathbf{e}} \sqrt[n]{\frac{F}{R_m S_0}}$

STO	$*$	exp	RCL	0.	0	4	9	7	4	4	3	$\longrightarrow$	$\bar{x}$

$\Downarrow \varepsilon = n\bar{x}$

$$\varepsilon = 0.0099488$$

retour

Résistance et contrainte ultime

- *Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que $R_{\mathrm{m}} \simeq \sigma_{\mathrm{ult}}$.*

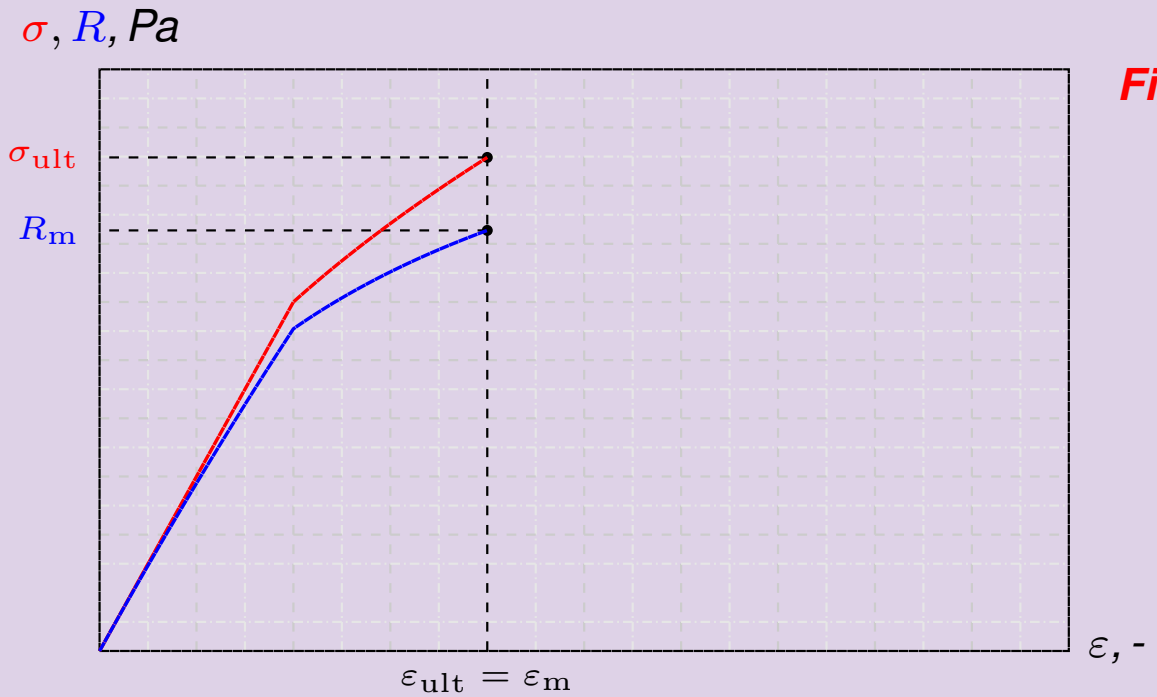


Fig. *courbes de traction, matériau fragile*

- ***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

- *Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que $R_{\mathrm{m}} \simeq \sigma_{\mathrm{ult}}$.*

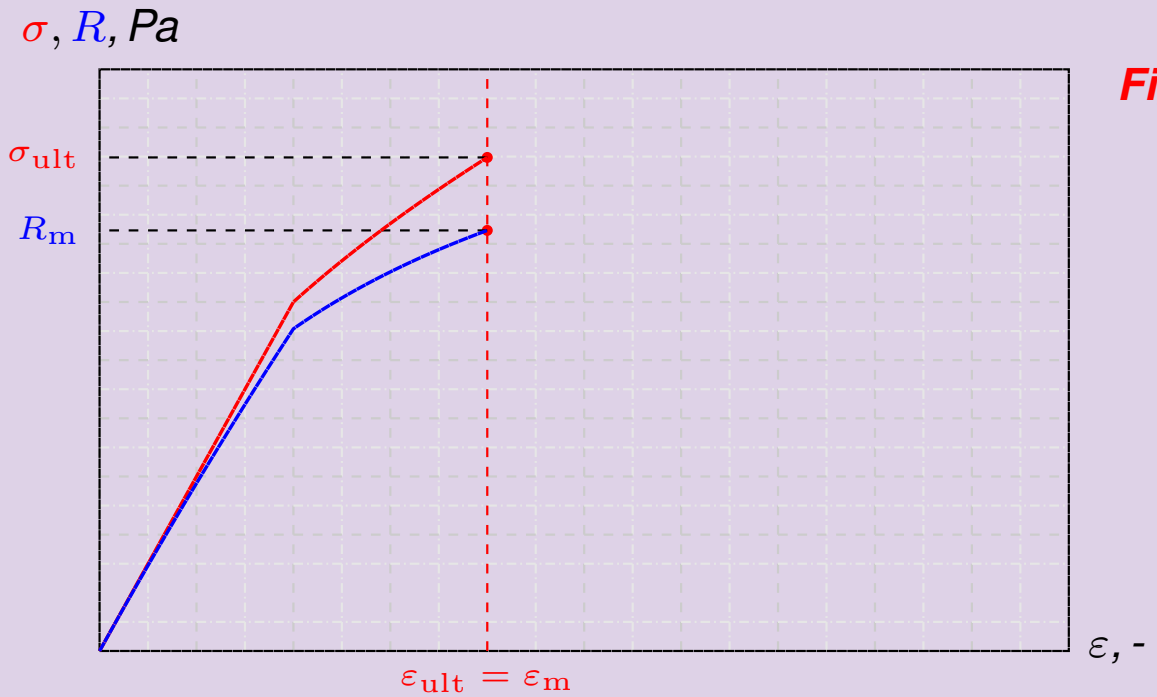


Fig. *courbes de traction, matériau fragile*

- ***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}, (généralement donnée par le constructeur ou mesurée expérimentalement).*

Résistance et contrainte ultime

- *Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que $R_{\mathrm{m}} \simeq \sigma_{\mathrm{ult}}$.*

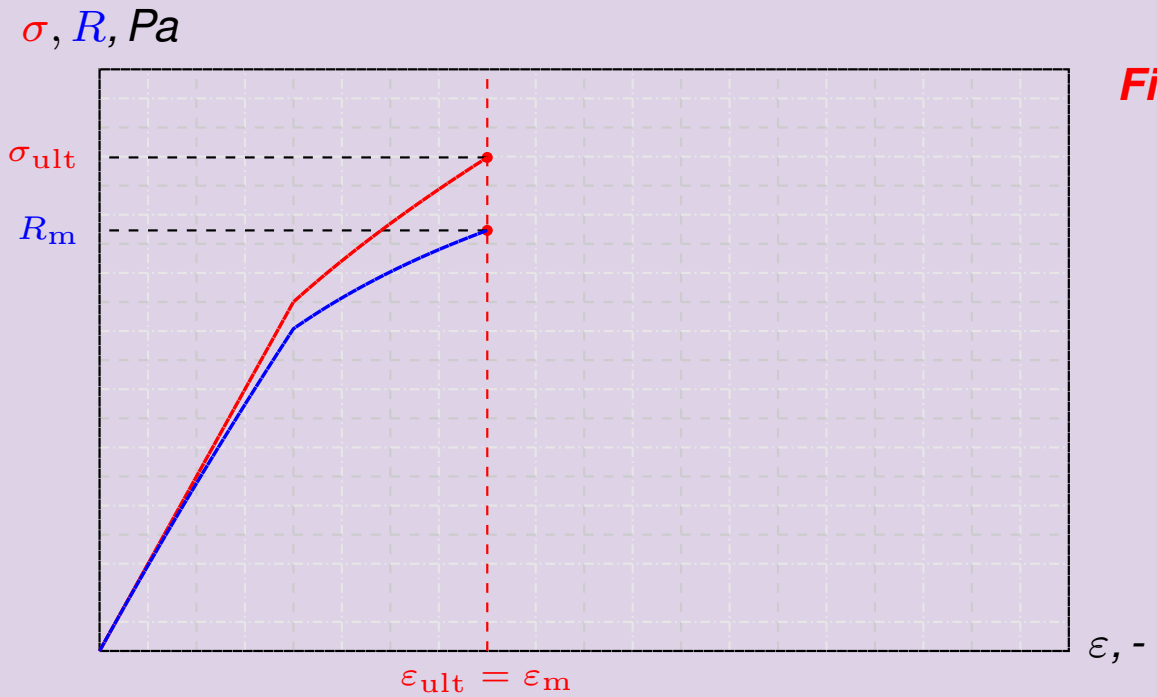


Fig. *courbes de traction, matériau fragile*

- ***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

- *Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que $R_{\mathrm{m}} \simeq \sigma_{\mathrm{ult}}$.*

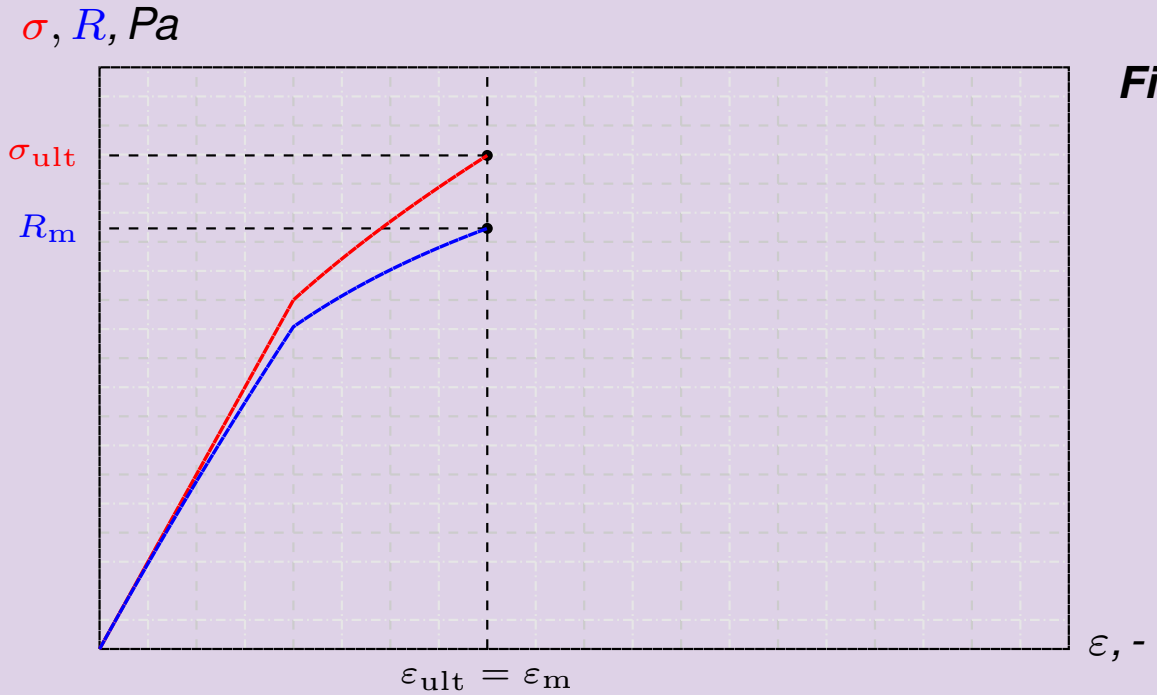


Fig. *courbes de traction, matériau fragile*

- ***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 initale non déformée****.*

Résistance et contrainte ultime

- *Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que $R_{\mathrm{m}} \simeq \sigma_{\mathrm{ult}}$.*

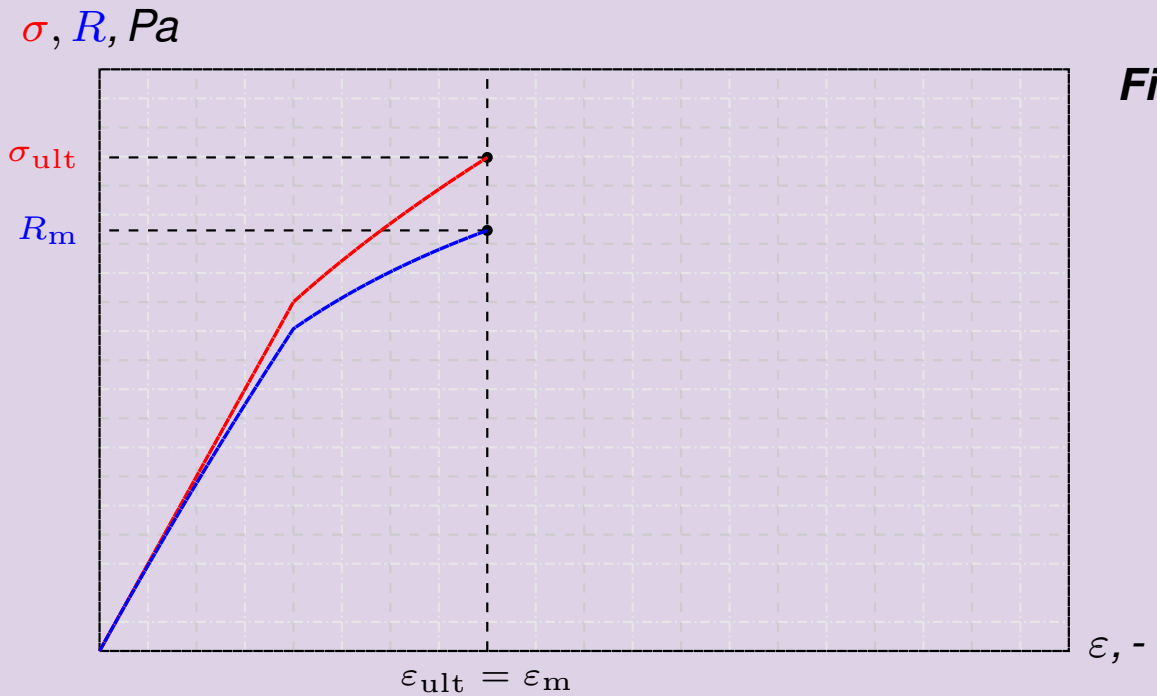


Fig. *courbes de traction, matériau fragile*

- ***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 initale non déformée****.*

Résistance et contrainte ultime

- *Dans le cas d'un matériau fragile, la différence entre la résistance et la contrainte de traction ultime est moindre. On a généralement que $R_{\mathrm{m}} \simeq \sigma_{\mathrm{ult}}$.*

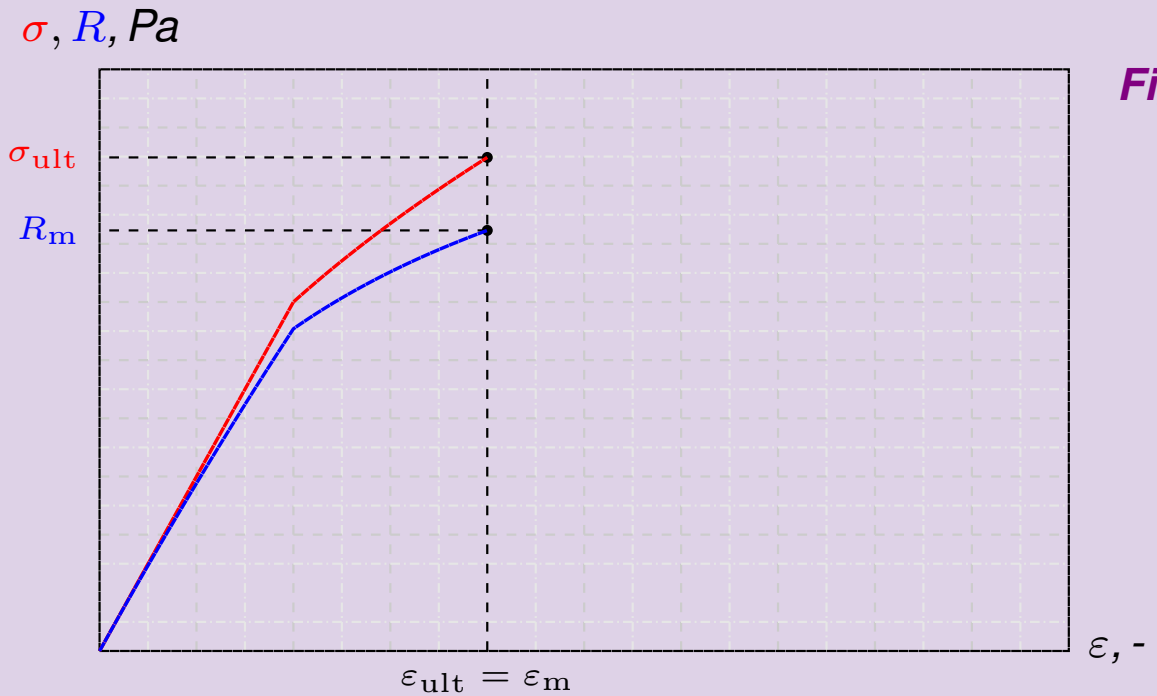
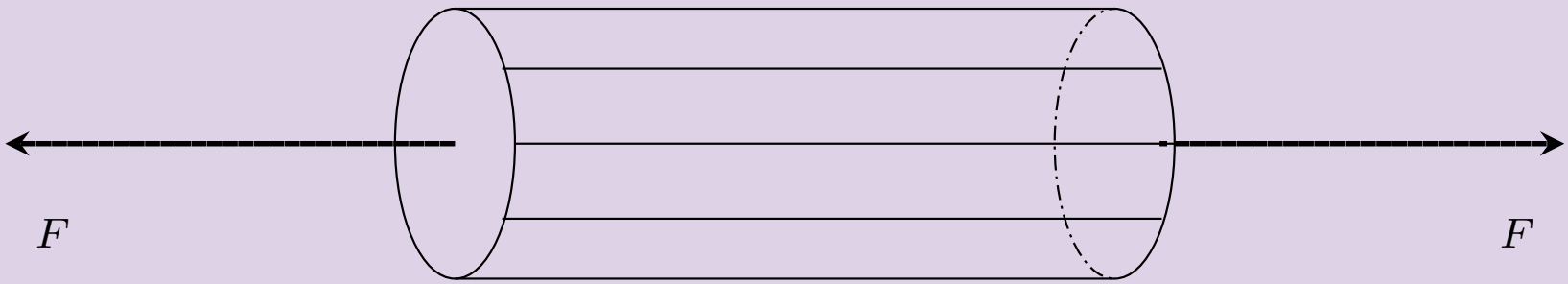


Fig. *courbes de traction, matériau fragile*

- ***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 initale non déformée****.*

retour

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)

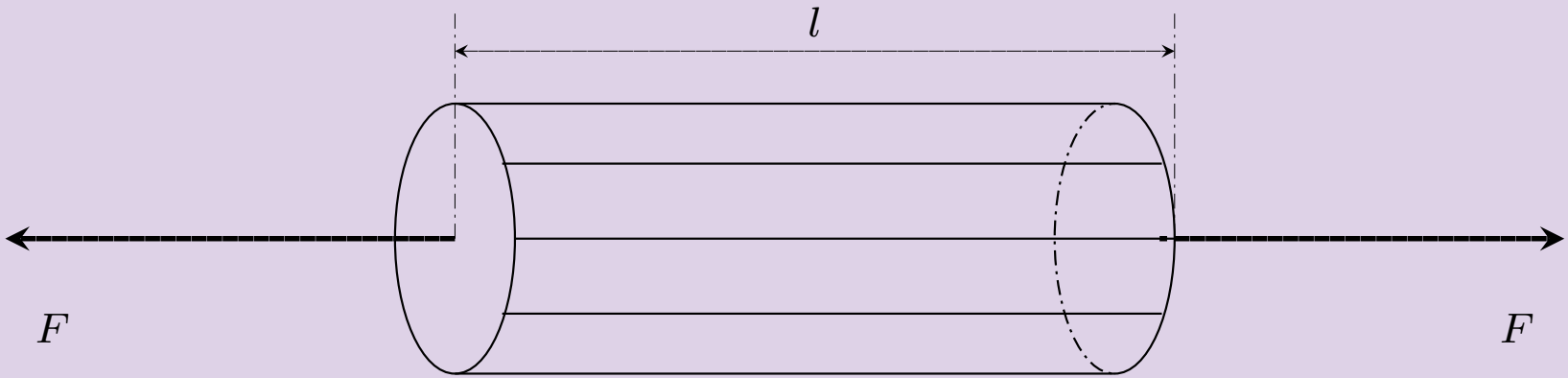


- *Le travail effectué vaut*

$$\mathrm{d}A = F\frac{\mathrm{d}l}{2} + F\frac{\mathrm{d}l}{2}$$

- *Comme* $Sl =$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)

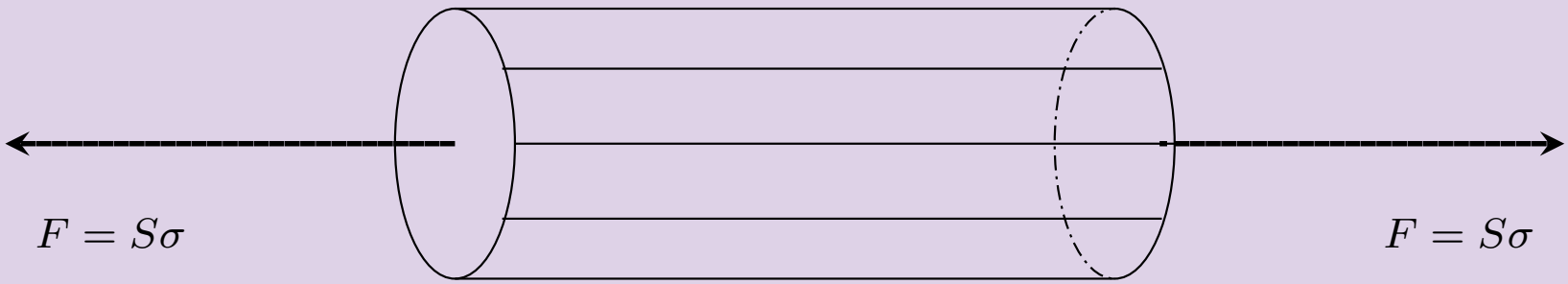


- *Le travail effectué vaut*

$$\mathrm{d}A = F\frac{\mathrm{d}l}{2} + F\frac{\mathrm{d}l}{2}$$

- *Comme* $Sl =$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)

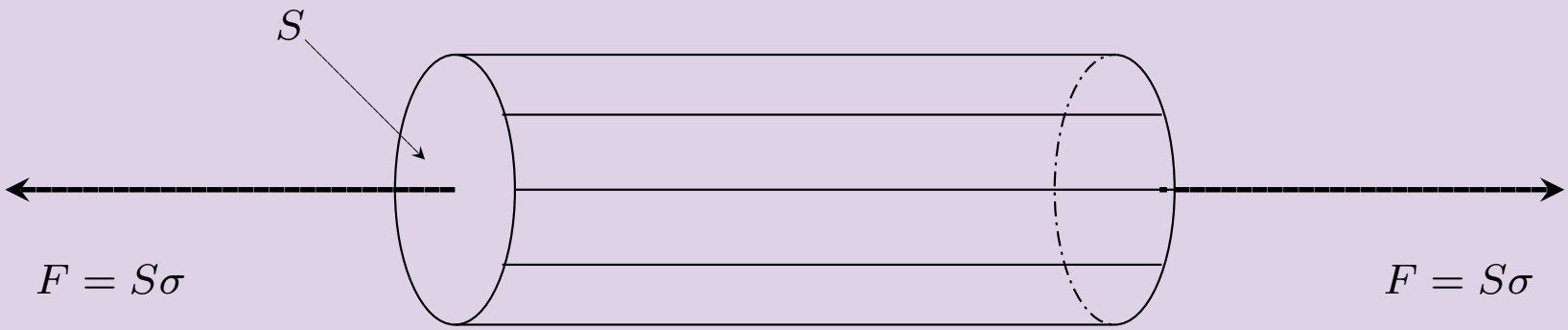


- *Le travail effectué vaut*

$$\mathrm{d}A = F\frac{\mathrm{d}l}{2} + F\frac{\mathrm{d}l}{2}$$

- *Comme* $Sl =$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)

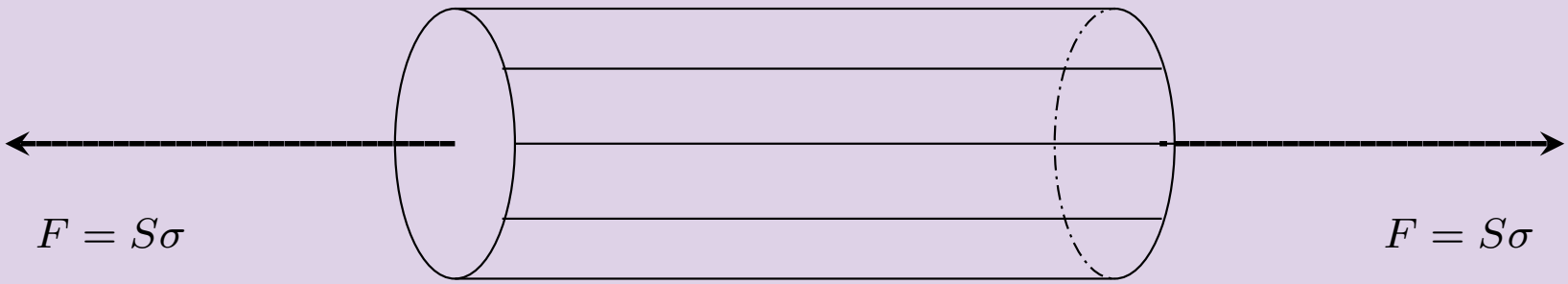


- *Le travail effectué vaut*

$$\mathrm{d}A = F\frac{\mathrm{d}l}{2} + F\frac{\mathrm{d}l}{2}$$

- *Comme* $Sl =$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)

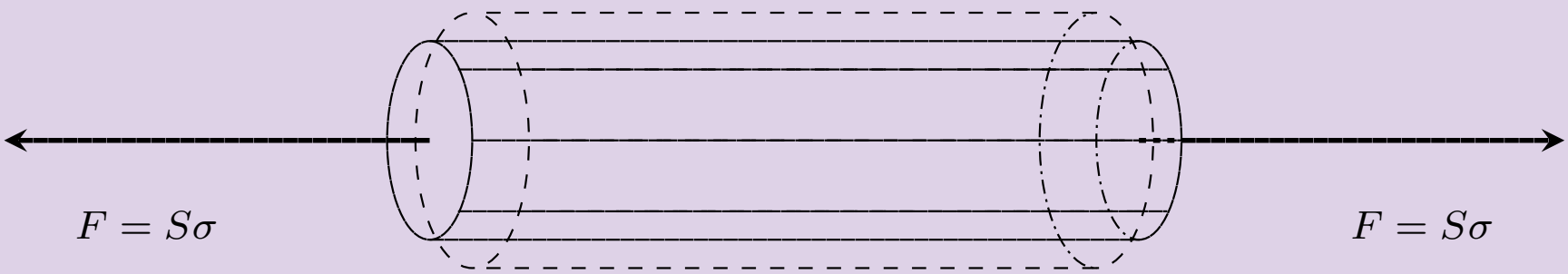


- *Le travail effectué vaut*

$$\mathrm{d}A = F\frac{\mathrm{d}l}{2} + F\frac{\mathrm{d}l}{2}$$

- *Comme* $Sl =$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)

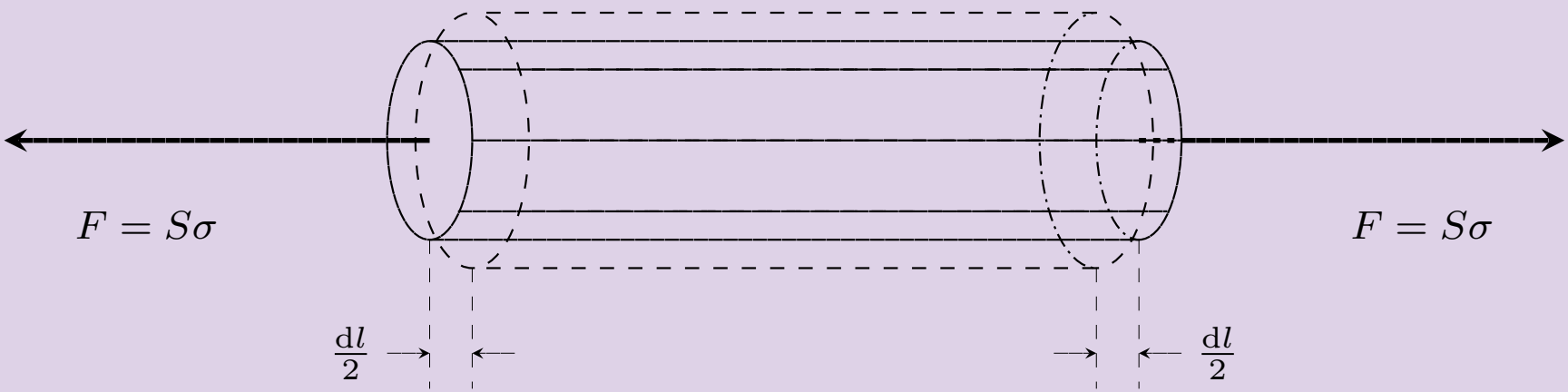


- *Le travail effectué vaut*

$$\mathrm{d}A = F\frac{\mathrm{d}l}{2} + F\frac{\mathrm{d}l}{2}$$

- *Comme* $Sl =$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)

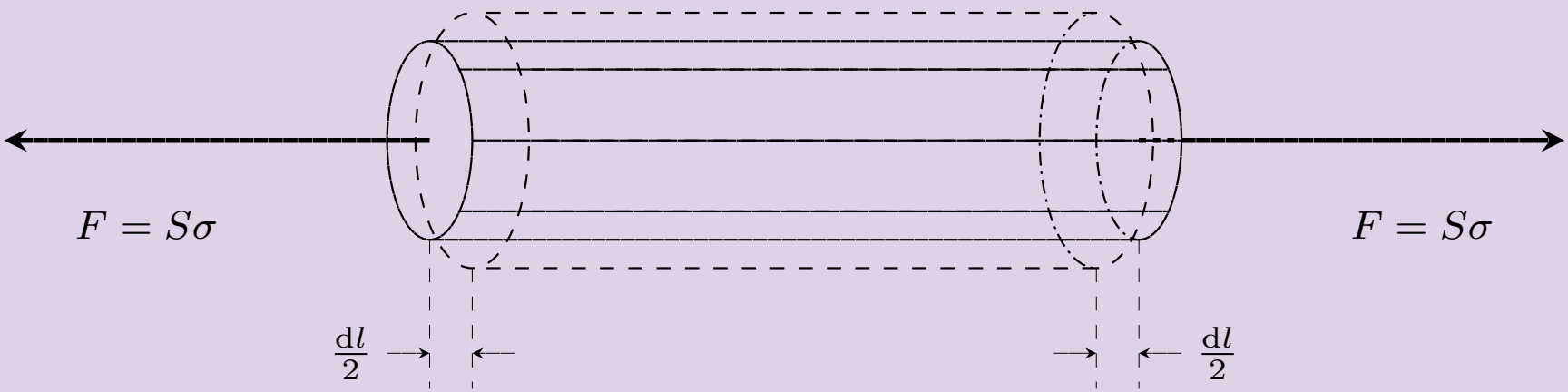


- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2}$$

- *Comme* $Sl =$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)

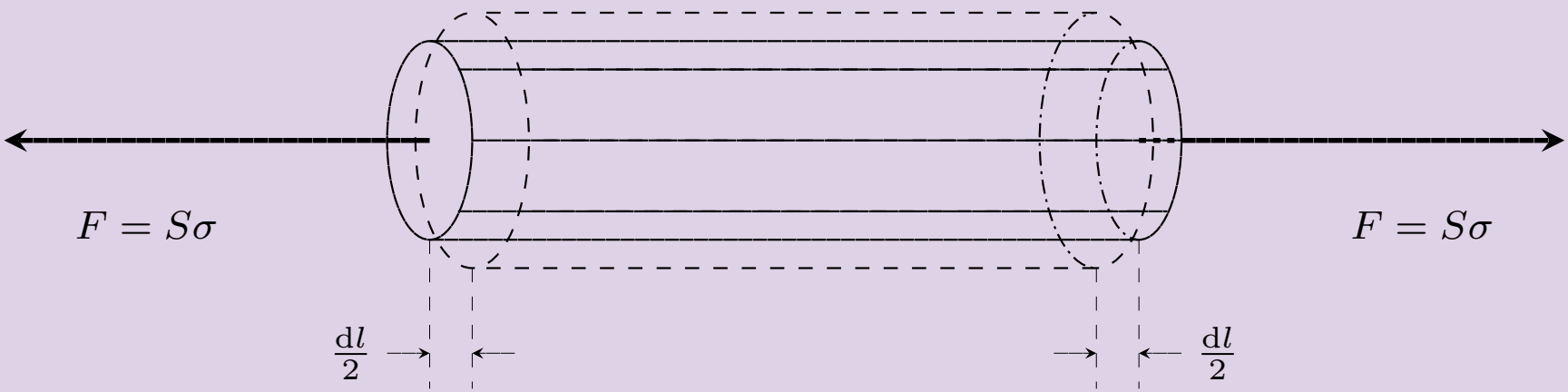


- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = Fdl$$

- *Comme* $Sl =$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



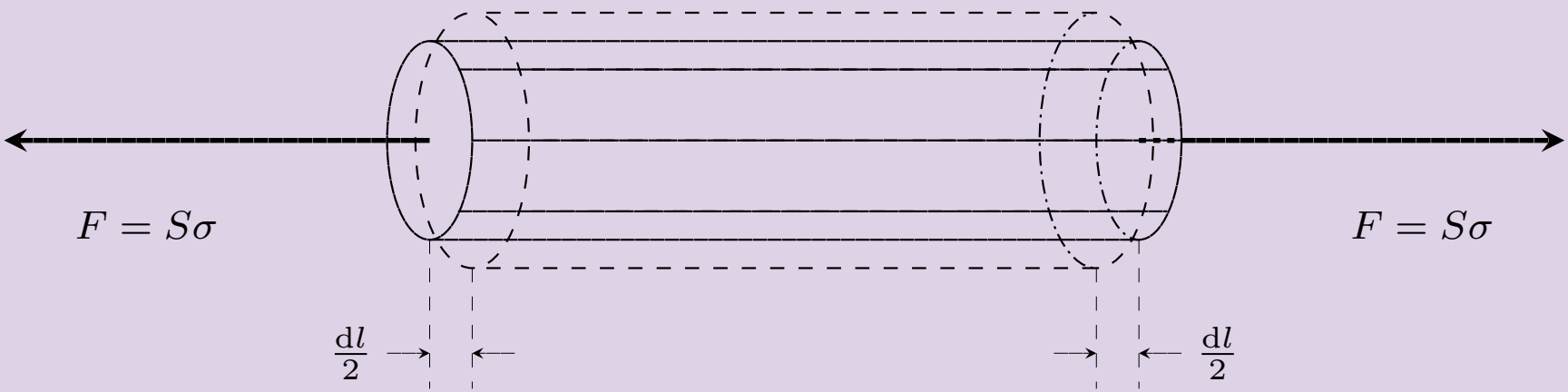
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = F\,dl$$

- *Comme* $Sl =$

Factorisation de F

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



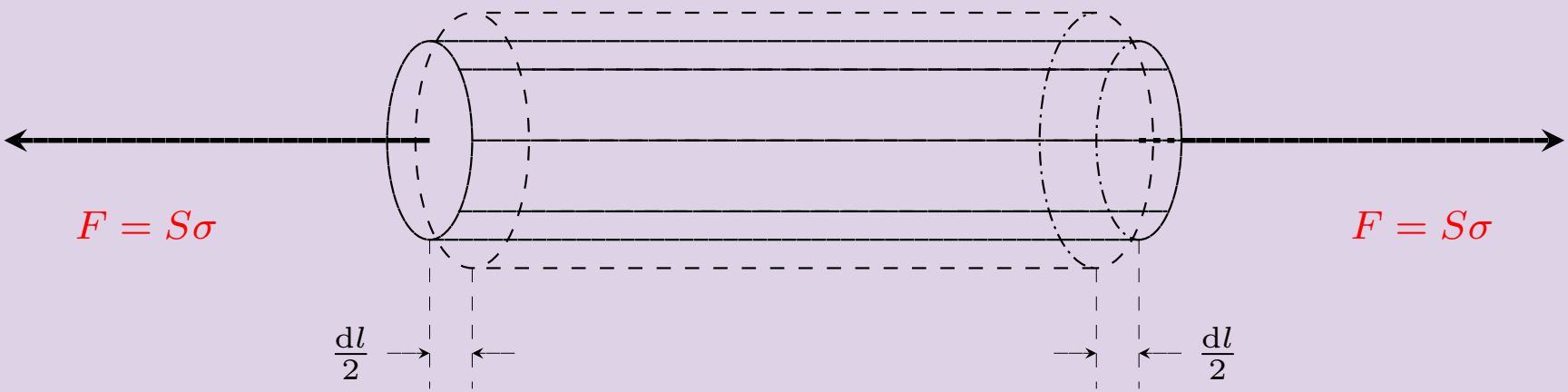
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl$$

- *Comme* $Sl =$

Factorisation de F

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



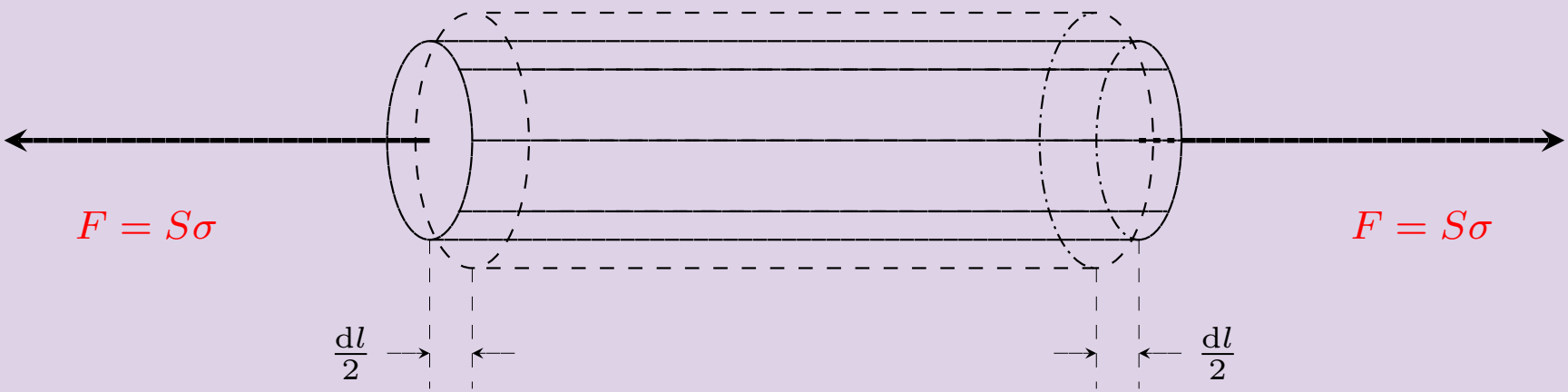
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = F dl = S\sigma dl$$

- *Comme* $Sl =$

Identification de F

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



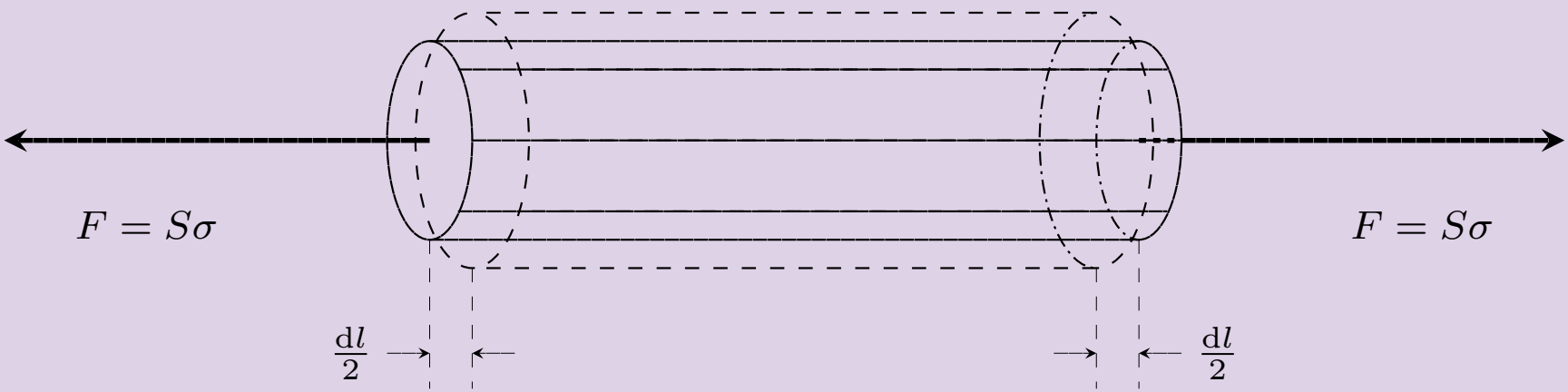
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = F dl = S\sigma dl = Sl\sigma\frac{dl}{l}$$

- *Comme* $Sl =$

Identification de F

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



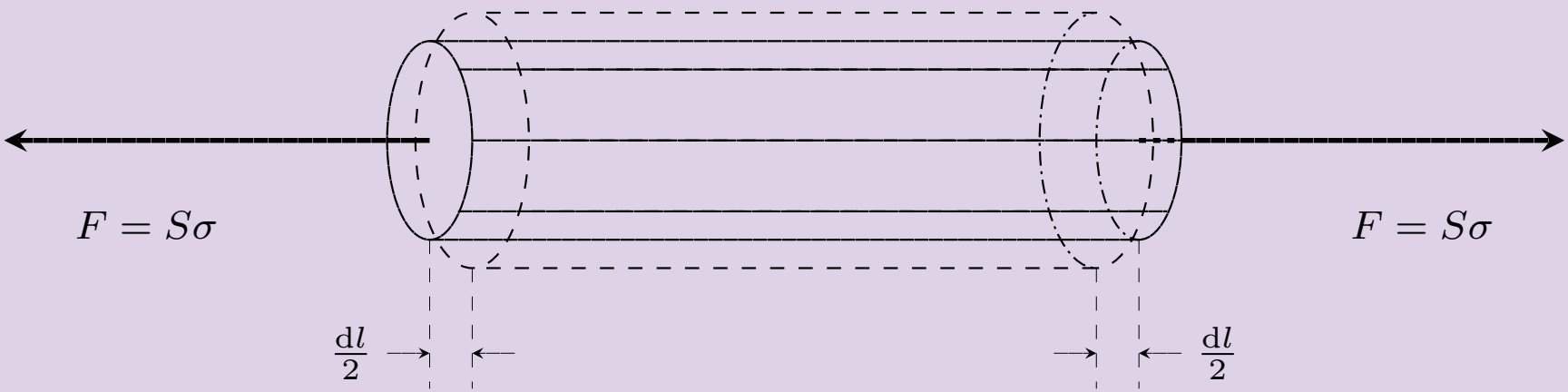
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = Sl\sigma\frac{dl}{l}$$

- *Comme* $Sl =$ [illegible]

Reconnaître l'accroissement relatif de longueur et remplacer l'increment de longeur dl par l'incrément de déformation $d\varepsilon$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



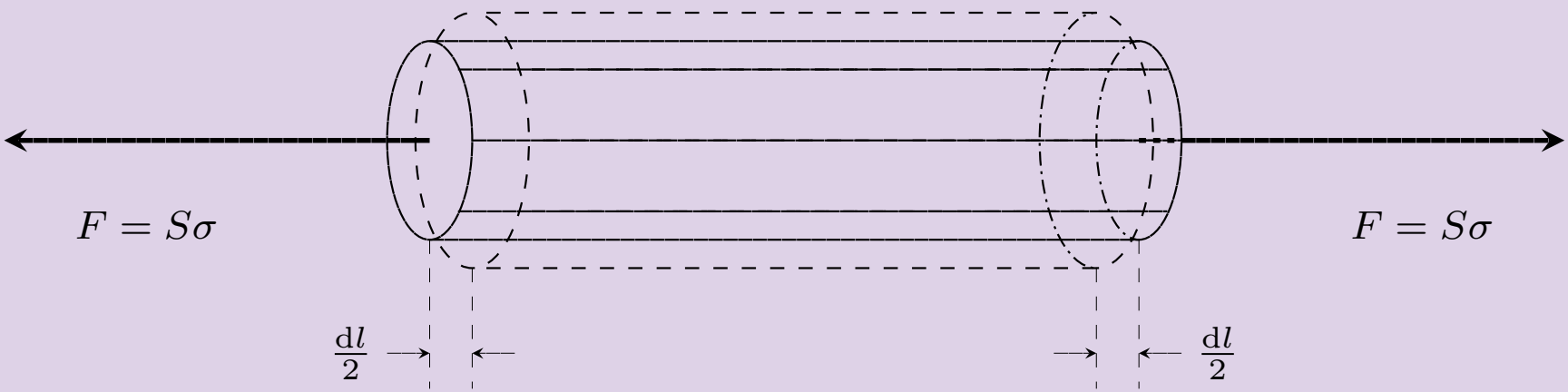
- *Le travail effectué vaut*

$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = Sl\sigma\frac{dl}{l}$$

- *Comme* $Sl = V$ *et que* $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$ *on a*

Reconnaître l'accroissement relatif de longueur et remplacer l'increment de longeur dl par l'incrément de déformation $d\varepsilon$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



- *Le travail effectué vaut*

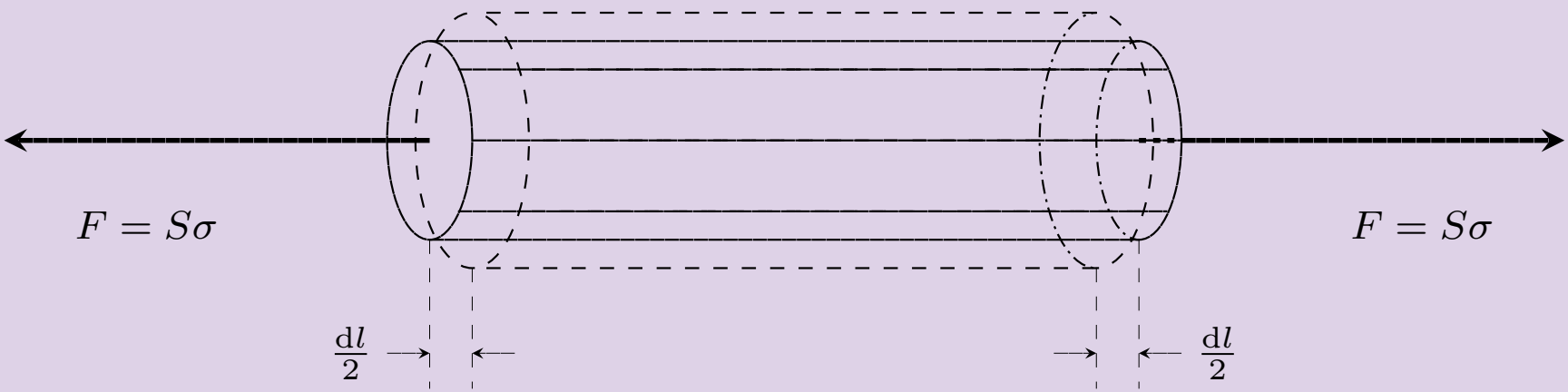
$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = Sl\sigma\frac{dl}{l}$$

- *Comme* $Sl = V$ *et que* $\frac{dl}{l} = \varepsilon$, *on obtient donc*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

Reconnaître l'accroissement relatif de longueur et remplacer l'increment de longeur dl par l'incrément de déformation $d\varepsilon$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



- *Le travail effectué vaut*

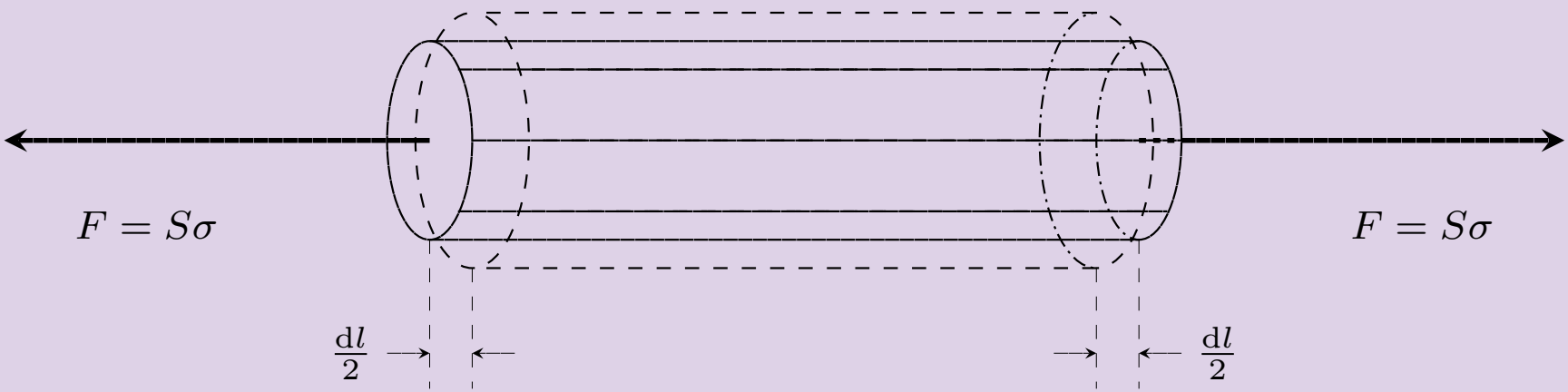
$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = Sl\sigma\frac{dl}{l}$$

- *Comme* $Sl = V$ *et que* $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$, *on obtient donc*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

Reconnaître l'accroissement relatif de longueur et remplacer l'increment de longeur dl par l'incrément de déformation $d\varepsilon$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



- *Le travail effectué vaut*

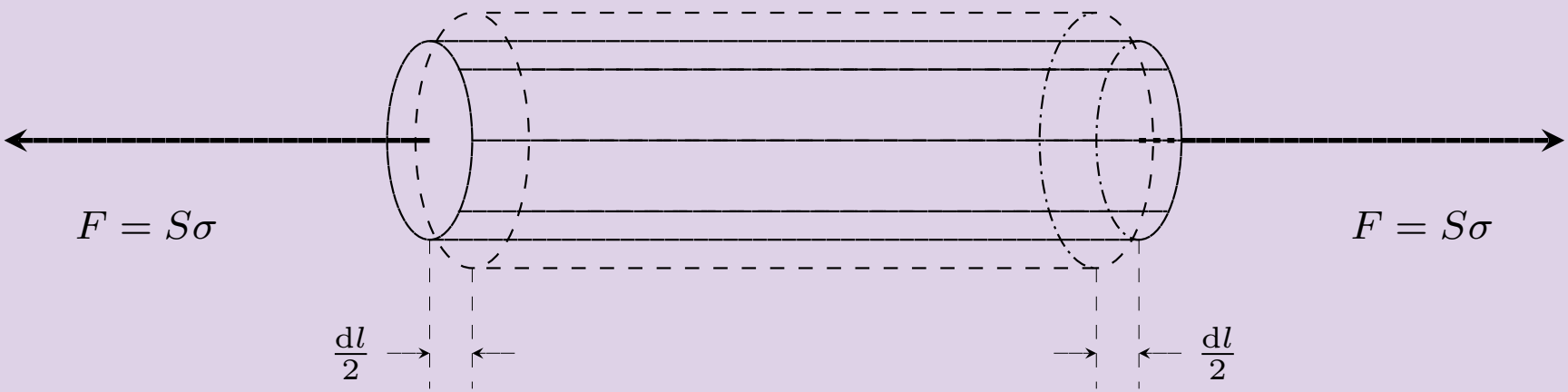
$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = Sl\sigma\frac{dl}{l}$$

- *Comme* $Sl = V$ *et que* $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$, *on conclut que*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

Reconnaître l'accroissement relatif de longueur et remplacer l'increment de longeur dl par l'incrément de déformation $d\varepsilon$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



- *Le travail effectué vaut*

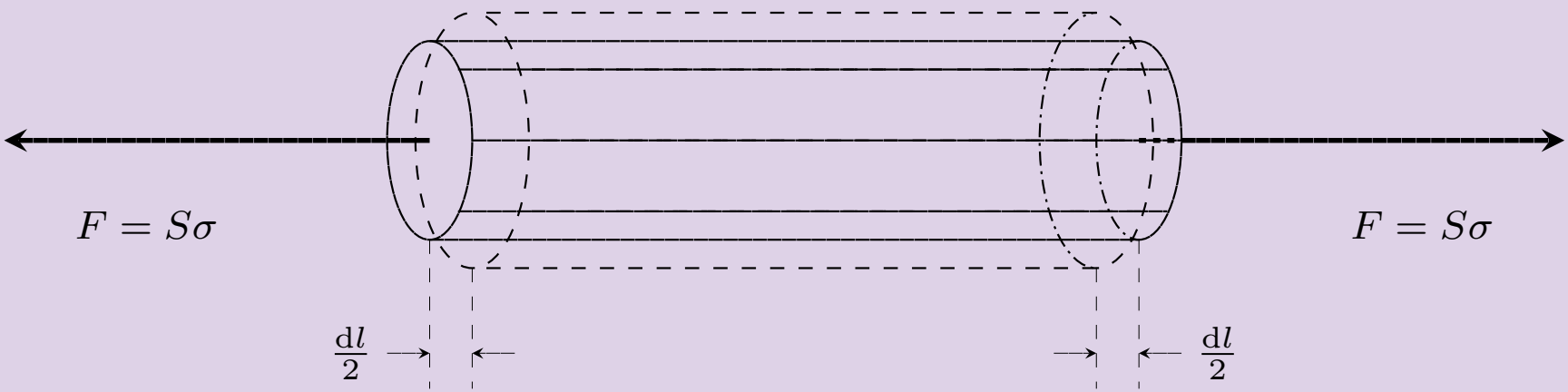
$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = Sl\sigma\frac{dl}{l}$$

- *Comme* $Sl = V$ *et que* $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$, *on conclut que*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

Reconnaître l'accroissement relatif de longueur et remplacer l'increment de longeur dl par l'incrément de déformation $d\varepsilon$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



- *Le travail effectué vaut*

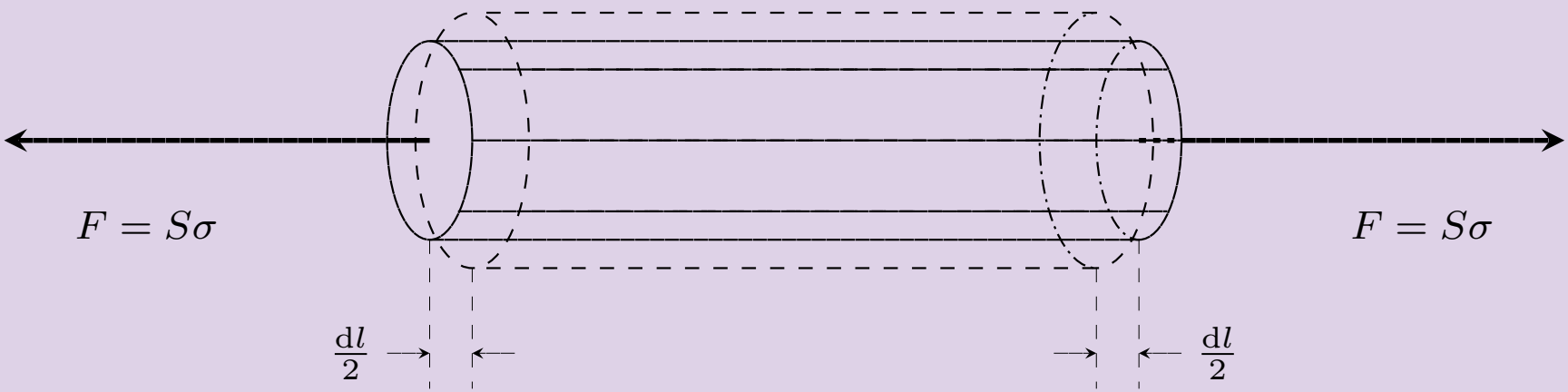
$$dA = F\frac{dl}{2} + F\frac{dl}{2} = Fdl = S\sigma dl = Sl\sigma\frac{dl}{l}$$

- *Comme* $Sl = V$ *et que* $\frac{dl}{l} = d\varepsilon$, *on conclut que*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

Reconnaître l'accroissement relatif de longueur et remplacer l'increment de longeur dl par l'incrément de déformation $d\varepsilon$

Episode de traction (allongement dl de l'échantillon)



- *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*

$$dA = V\sigma d\varepsilon$$

retour

Energie spécifique et courbe de traction réelle

- *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

- *L'énergie spécifique de déformation $\eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$, s'interprète comme l'aire sous la courbe de traction réelle.*

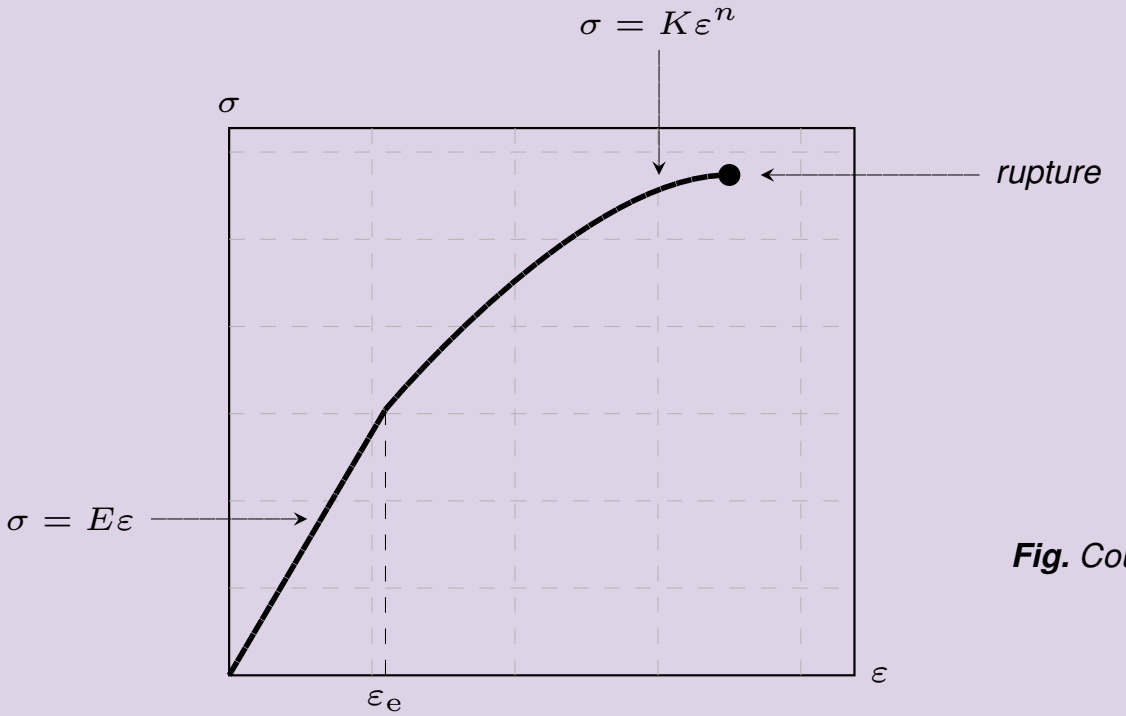


Fig. *Courbe de traction réelle*

Energie spécifique et courbe de traction réelle

- *L'énergie spécifique de déformation $\eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$, s'interprète comme l'aire sous la courbe de traction réelle.*

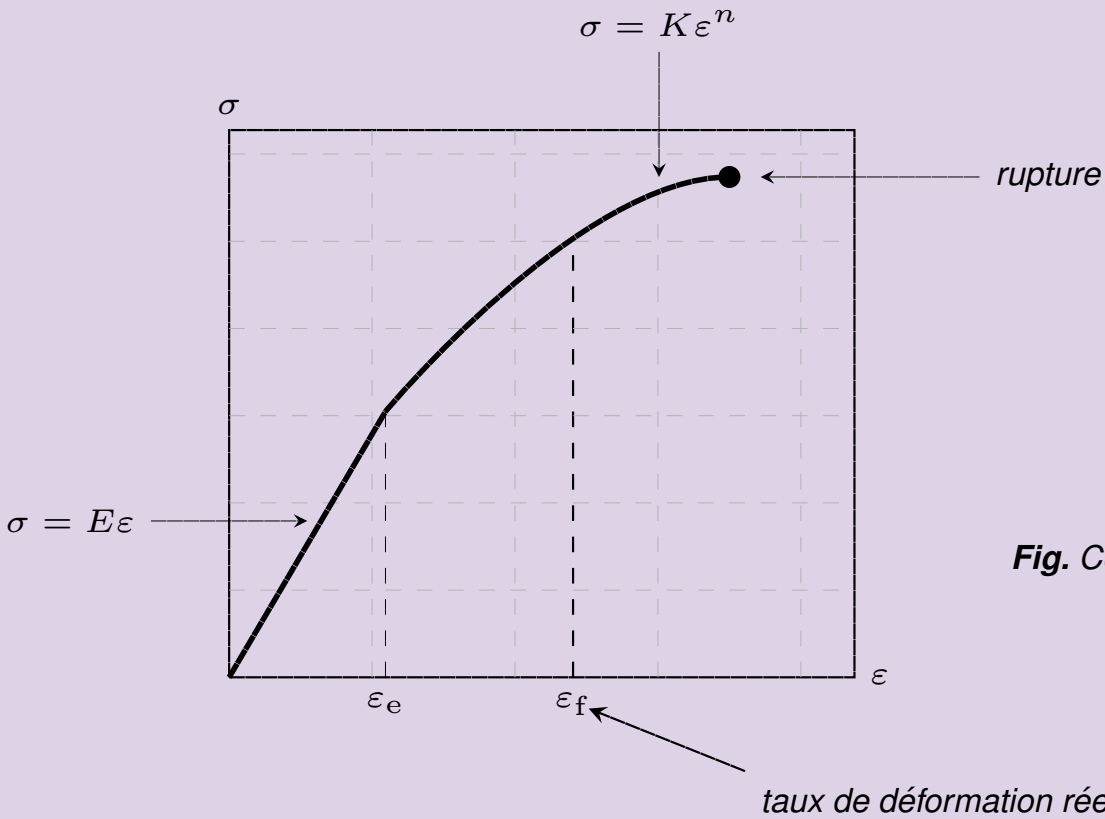


Fig. *Courbe de traction réelle*

Energie spécifique et courbe de traction réelle

- *L'énergie spécifique de déformation $\eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$, s'interprète comme l'aire sous la courbe de traction réelle.*

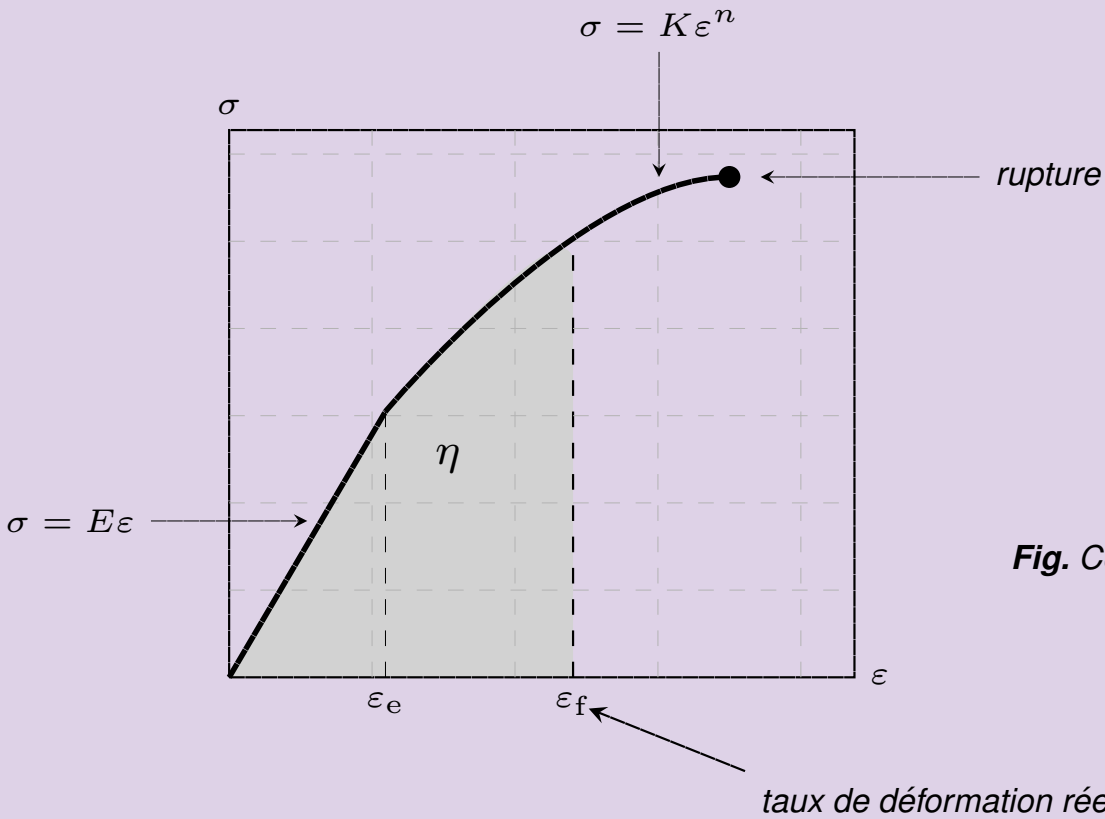


Fig. *Courbe de traction réelle*

Energie spécifique et courbe de traction réelle

- *L'énergie spécifique de déformation $\eta = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma d\varepsilon$, s'interprète comme l'aire sous la courbe de traction réelle.*

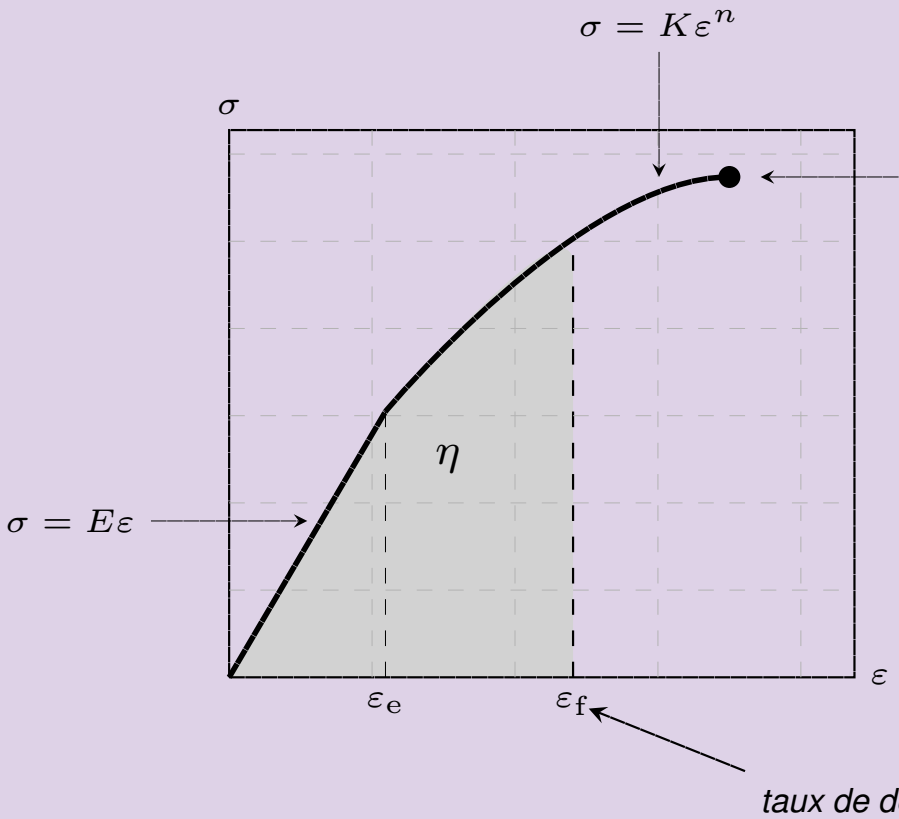
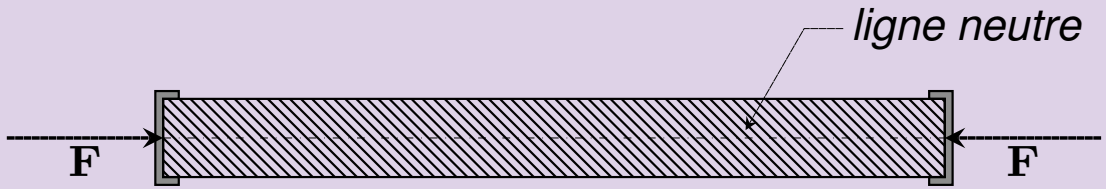


Fig. *Courbe de traction réelle*

retour

Theorie du flambage

- *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 :*

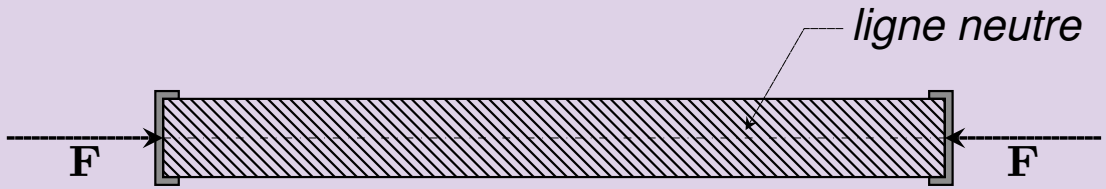
$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi l_0^2}$$

alors il existe d'autres configurations d'équilibre,

- *On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.*

Theorie du flambage

- *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 :*

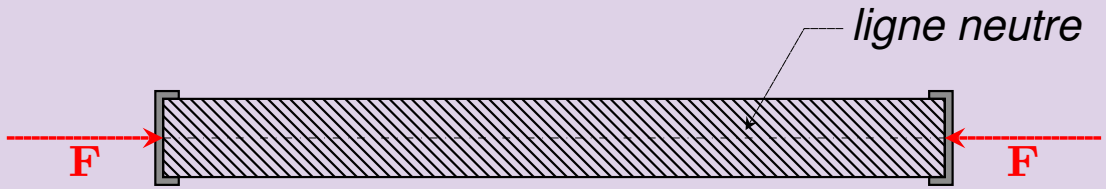
$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi l_0^2}$$

alors il existe d'autres configurations d'équilibre, impliquant (par exemple) des flexions

- *On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.*

Theorie du flambage

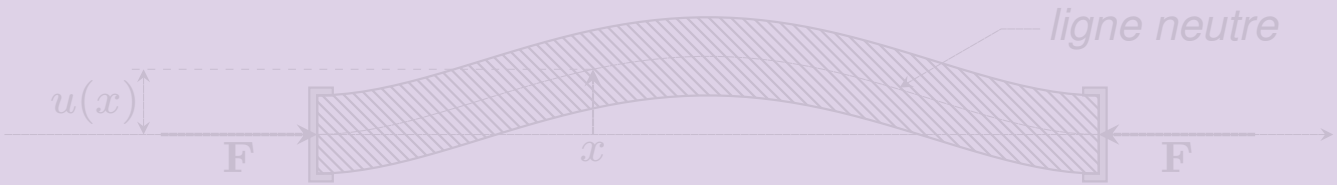
- *L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur l_0, section S_0) est en principe un état de compression uniforme :*



- *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 :*

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi l_0^2}$$

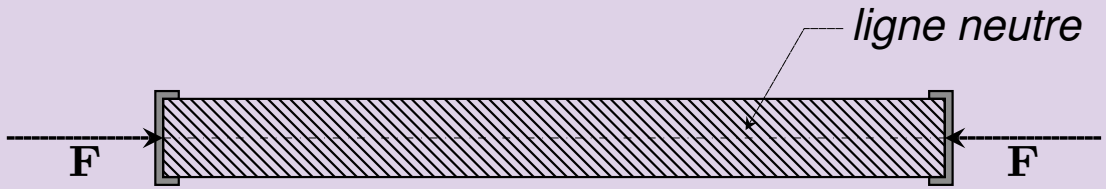
alors il existe d'autres configurations d'équilibre, impliquant (par exemple) des flexions



- *On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.*

Theorie du flambage

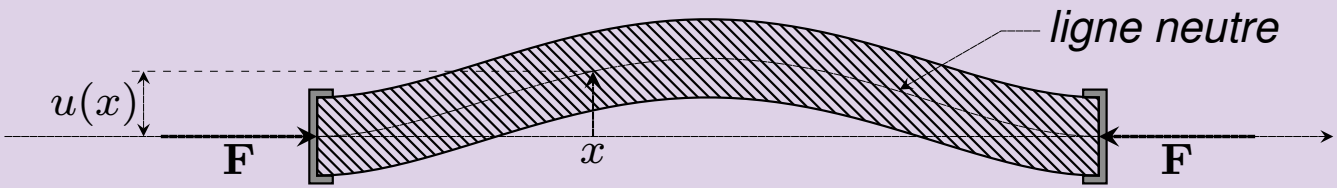
- *L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur l_0, section S_0) est en principe un état de compression uniforme :*



- *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 :*

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi l_0^2}$$

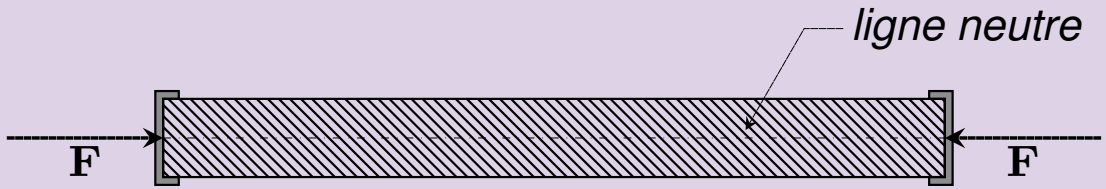
alors il existe d'autres configurations d'équilibre, impliquant (par exemple) des flexions



- *On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.*

Theorie du flambage

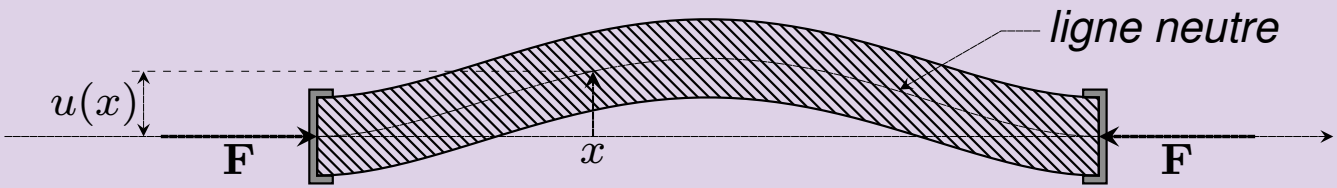
- *L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur l_0, section S_0) est en principe un état de compression uniforme :*



- *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 :*

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi l_0^2}$$

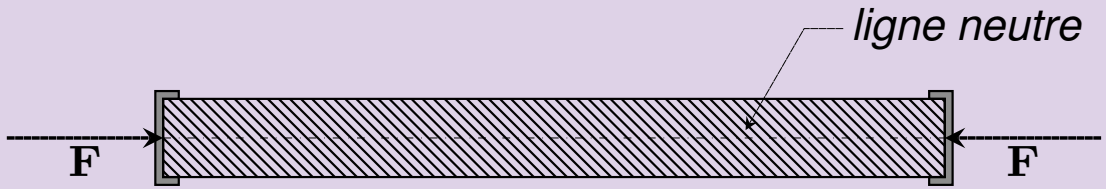
alors il existe d'autres configurations d'équilibre, impliquant (par exemple) des flexions



- *On appelle **flambage** la bifurcation vers ces nouveaux états de déformation.*

Theorie du flambage

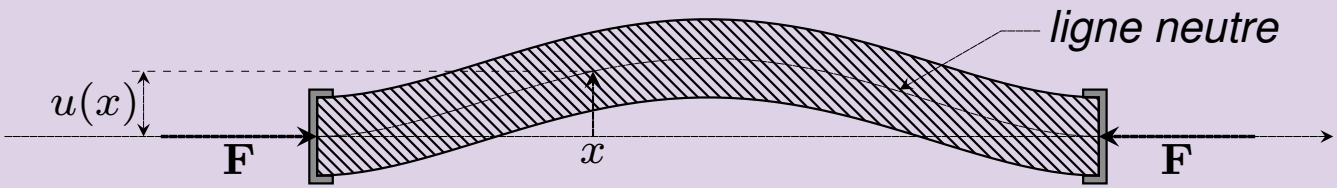
- *L'état de déformation d'un échantillon de compression (longueur l_0, section S_0) est en principe un état de compression uniforme :*



- *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 :*

$$\frac{R}{E} \geq \frac{S_0}{4\pi l_0^2}$$

alors il existe d'autres configurations 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

Matériau	R_m *[MPa]*	R_e *[MPa]*	E *[GPa]*	ν	ε_{ult}
Acier ordinaire	300/1100	200/900	210	0.3	0.17
Acier hautes carac.	1100/1800	1000/1700	210	0.3	-
Acier inox. aust.	-	180/240	195	0.3	0.4
Alliages aluminium	200/600	100/500	70	0.34	0.05/0.30
Titane	650	500	110	0.34	0.35/0.55
Cuivre *(forgé)*	215/930	49/420	115/132	0.31	0.015/0.55
Laiton	159/896	69/683	97/115	0.33	0.03/0.68
Bronze	96/1010	69/793	41/137	0.31	0/0.7

Données physiques

Matériau	n
Acier doux $(0.05\%\mathrm{C})$	0.26
Acier à haute résistance *(SAE 4340)*	0.15
Acier trempé et recuit $(0.6\%\mathrm{C})$	0.15
Laiton recuit *(70Cu/30Zn)*	0.49
Laiton déformé à froid *(70Cu/30Zn)*	0.19
Nickel recuit	0.43
Nickel déformé à froid	0.07
Aluminium recuit	0.15

retour

Données physiques

Matériau	n
Acier doux $(0.05\%\mathrm{C})$	0.26
Acier à haute résistance *(SAE 4340)*	0.15
Acier trempé et recuit $(0.6\%\mathrm{C})$	0.15
Laiton recuit *(70Cu/30Zn)*	0.49
Laiton déformé à froid *(70Cu/30Zn)*	0.19
Nickel recuit	0.43
Nickel déformé à froid	0.07
Aluminium recuit	0.15

retour

Données physiques

Matériau	n
Acier doux $(0.05\%\mathrm{C})$	0.26
Acier à haute résistance *(SAE 4340)*	0.15
Acier trempé et recuit $(0.6\%\mathrm{C})$	0.15
Laiton recuit *(70Cu/30Zn)*	0.49
Laiton déformé à froid *(70Cu/30Zn)*	0.19
Nickel recuit	0.43
Nickel déformé à froid	0.07
Aluminium recuit	0.15

retour

Données physiques

Matériau	τ_S *(ou* τ_{ult}*), MPa*
Fer	370
Acier $(0.13\%\text{C})$	480
Acier *(Ni-Cr-V)*	690
Acier *(austénitique inoxydable)*	630
Nickel	420
Cuivre *(recuit)*	250
Cuivre *(travaillé à froid)*	270
Laiton *(70Cu/30Zn)*	370
Aluminium	97
Magnésium	125
Plomb	36

retour