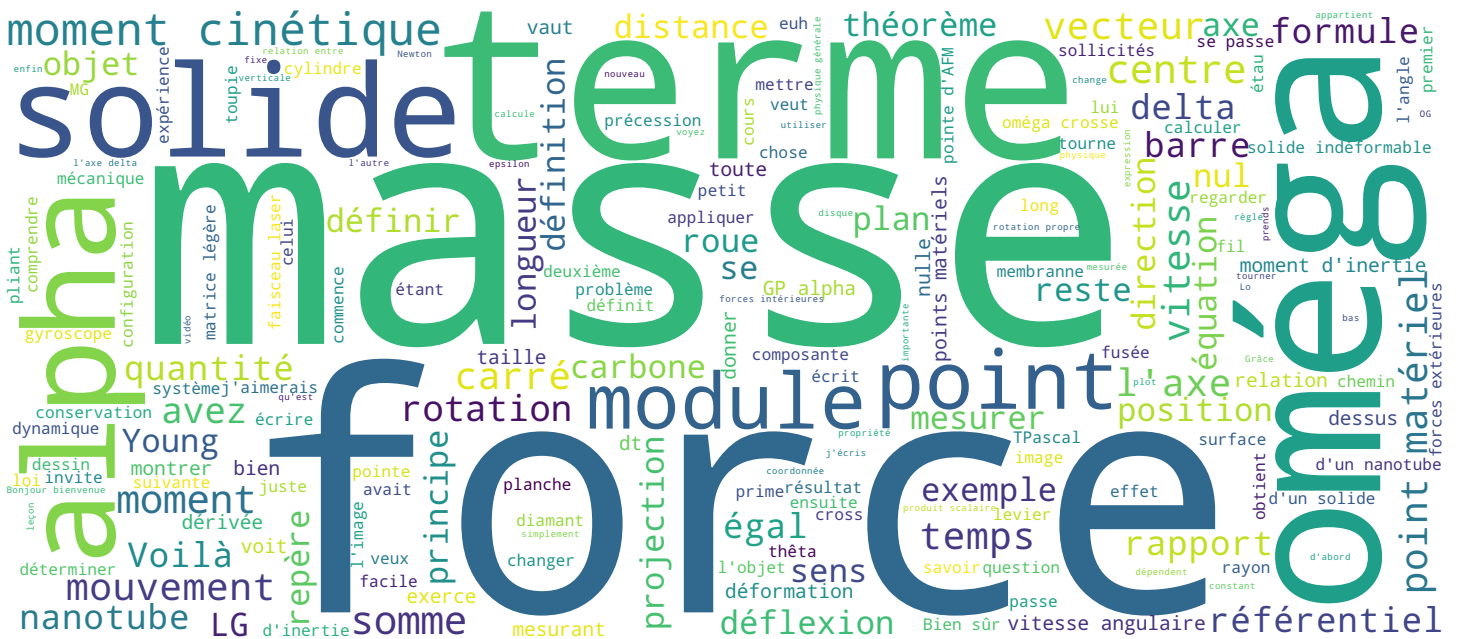


Déformation d'un solide

Mécanique, cours 18

László Forró





Prof. László Forró

Laboratoire de Physique de la Matière
Complexe - EPFL

Mécanique | 2013 2

Dans ce cours de mécanique, vous avez déjà appris quelles sont les quantités majeures qui décrivent la déformation d'un solide. Par exemple, le module de Young, module de cisaillement, contrainte de rupture ou de rétention. Ces quantités sont très importantes, par exemple, si on veut construire un bâtiment, il faut savoir quelle charge peut supporter une poutre. ou si on fait une membrane, il faut savoir à quelle pression elle va se déchirer, ou même, dans, euh, le milieu vivant, on peut comprendre pourquoi le tendon d'achille de David Beckham a craqué juste avant la coupe du monde. Ici, je vais vous montrer comment on peut mesurer, euh, le module de Young, autrement dit, module d'élasticité euh, d'un nanostructure, dans un nanotube. Euh, un nanotube sont des objets qui sont très populaires, très sollicités dans la nanotechnologie.

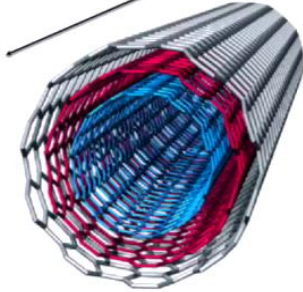
Notes

Summary



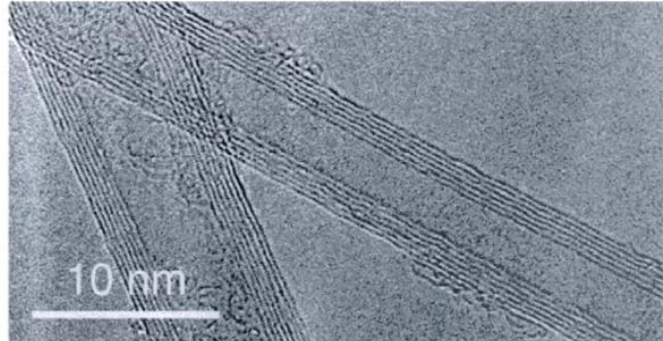
0m 03s

1-100 μm



5-30 nm

Nanotubes de carbone



Mécanique | 2013 3

Qu'est-ce que c'est un nanotube de carbone? Voici la représentation schématique de la structure cristalline vue par un microscope électronique de transmission. Le diamètre varie entre cinq et 30 nanomètres et la longueur peut attendre plusieurs centaines de microns, voire millimètres. Ils étaient découverts en 1991. Ils font l'objet de beaucoup d'applications. Entre autres, ils sont sollicités comme fibres de renforcement dans les composites. Le principe est qu'en mélangeant un fibre fort dans une matrice légère, on obtient une composite légère et très forte. Donc, on veut savoir quel est le module de Young d'un nanotube de carbone. Est-ce que c'est un structure bonne pour renforcer une matrice légère?

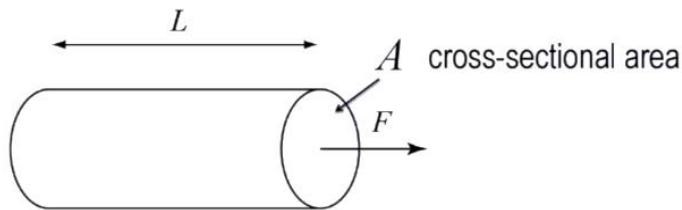
Notes

Summary



0m 52s

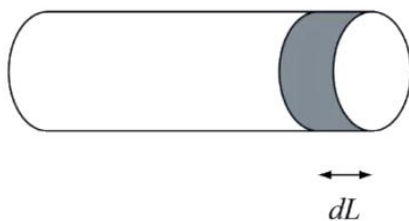
Force en fonction de la déformation



contrainte \longrightarrow allongement spécifique

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

$$\varepsilon = \frac{dL}{L}$$



Loi de Hooke

$$\sigma = E \varepsilon$$

Module de Young

Mécanique | 2013 4

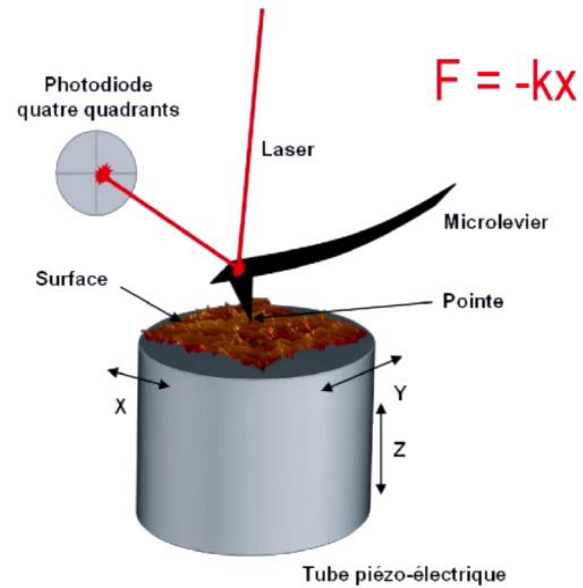
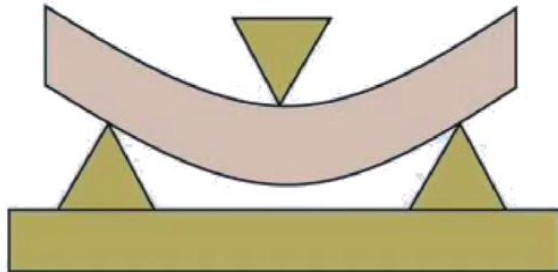
Laissez-moi rappeler, qu'est-ce que c'est le module de Young? On prend une barre de longueur L d'une section A et on exerce une force à l'extrémité F . Grâce à cette force, la barre va s'allonger de ΔL . Si on définit des quantités qui ne dépendent pas de la taille de notre objet, comme la contrainte et l'allongement spécifique, epsilon, on voit qu'il y a une relation entre les deux, définie par la loi de Hooke. Sigma égal E sur epsilon, E fois epsilon. Euh, le E est le module de Young. L'unité c'est le pascal. En simplifiant, ce paramètre nous enseigne, est-ce que c'est facile de changer les liaisons entre les atomes, ou molécules dans un solide? C'est difficile, comme pour le diamant, E égal un TPascal. Si c'est facile, comme pour un caoutchouc, euh, E égal un mille fois plus faible. Si on modifie notre objet par une traction, en mettant dans un étau et en tirant là-dessus, et mesurant le chemin de la taille, ou par une compression mettant dans une presse et mesurant le chemin de la taille, on obtient le même module de Young.

Notes

Summary



Force pour déformer un nanotube



Microscope à Force Atomique

Mécanique | 2013 5

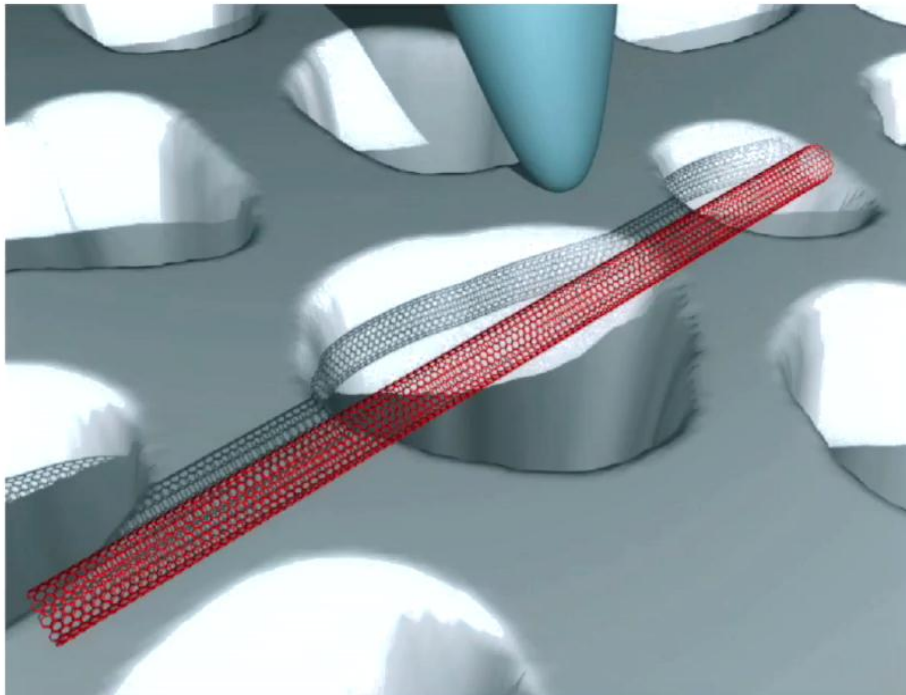
Comment le faire pour notre nanotube de carbone? Bien sûr, on ne peut pas mettre dans un étau, il faut définir une configuration différente. Donc, cette configuration, en suspendant le nanotube, et en exerçant une force au milieu, et mesurant la déflexion. On peut imaginer que c'est pas facile, s'il s'agit d'une structure nanométrique, de faire cette configuration. Il faut appliquer un outil spécifique qui s'appelle le microscope à force atomique. C'est un engin complexe, mais la part essentielle, c'est une pointe à l'extrémité d'un levier. En pliant le levier, on exerce une force. Donc, k c'est le constant de raideur, et cette déformation est mesurée par réflexion d'un faisceau laser, qui est rejeté sur un photodiode quadrant. Donc, on peut déterminer, encore une fois, la force par cette relation. On peut mesurer la déflexion par, euh, le photodiode.

Notes

Summary



La méthode de «fromage Suisse»



Mécanique | 2013 6

En réalité, nous avons déposé un nanotube sur une membrane de filtration avec des trous de 200 nanomètres. Voilà, avec le carbone. En balayant la surface, par cette pointe, on défraîchit notre carbone le, au, au-dessus du trou d'une mesure, cette déformation, cette déflexion par le faisceau laser. On peut changer la fosse en pliant plus, euh, le levier, et on peut mesurer de nouveau la déflexion de notre carbone. C'est le principe de cette méthode qui est développée dans notre laboratoire qui a le label "swiss cheese" méthode, et c'est peut-être devenu très populaire, appliquée en physique, en science des matériaux et même en biologie.

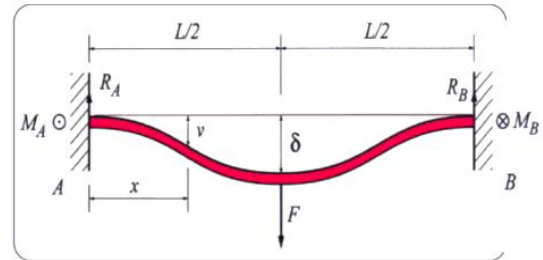
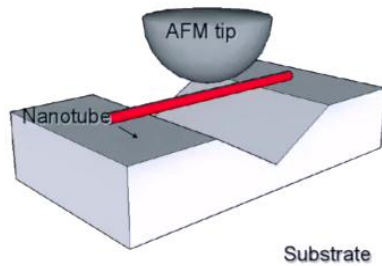
Notes

Summary



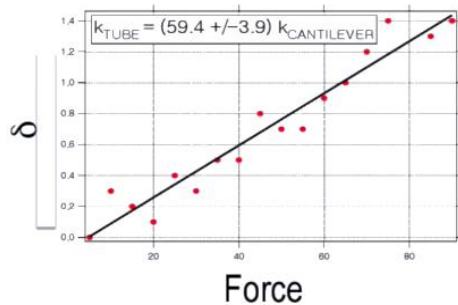
4m 11s

Mesure force-déformation



S.P. Timoshenko and J.M. Gere, *Mechanics of Materials*

Analysis AFM Images at Different Contact Force



$$\frac{\partial F}{\partial \delta} = \left(\frac{3 \cdot \pi \cdot D^4}{L^3} \right) \cdot E$$

Shape

D: nanotube outer diameter

Module de Young

Mécanique | 2013 10

Euh, comment on peut évaluer de cette manip le module de Young? Voici le détail. Euh, la position de départ, c'est un nanotube suspendu et la pointe d'AFM. Cette pointe d'AFM peut aussi faire l'image de la surface et cette image peut nous donner des paramètres importants comme la longueur suspendue d'un nanotube, et le diamètre du nanotube. Et en changeant la force, on peut mesurer la déformation delta. Pour l'iii de force et de déformation, on peut déterminer avec une grande précision le module de Young. Voilà la relation, le coefficient est juste un paramètre géométrique devant le module de Young.

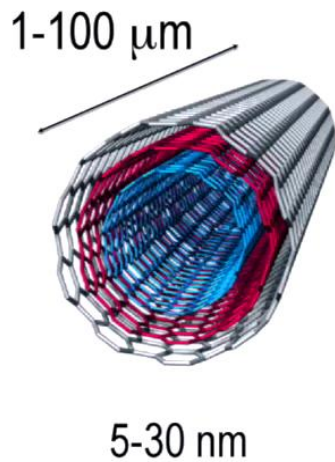
Notes

Summary

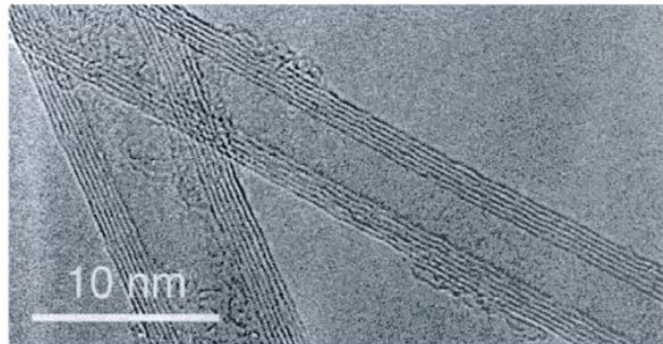


5m 11s

Nanotube de carbone : matériau très résistant



Nanotubes de carbone



Module de Young = 1 TPa

Mécanique | 2013 11

Et quel est le résultat pour notre structure? Et bien, l'intérieur carbone, en module de Young, de un TPascal, comme pour le diamant. Donc, c'est une excellente structure, pour la fabrication de composites, euh, de propriétés exceptionnelles.

Notes

Summary



6m 06s