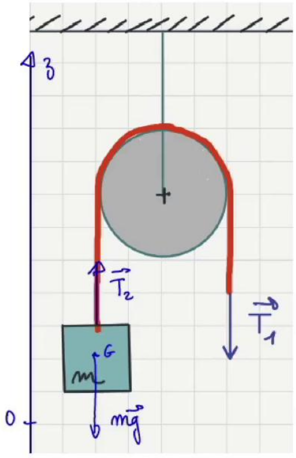
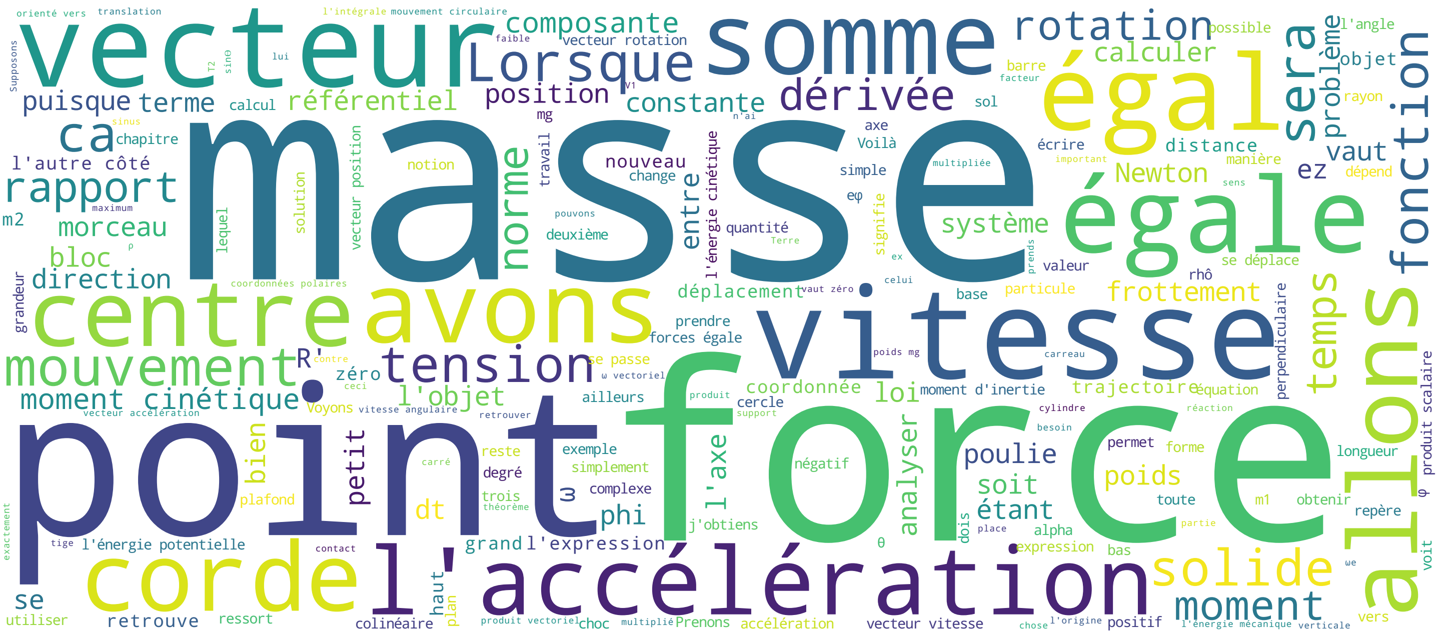
Physique générale : mécanique



Tension dans une corde

Partie 1

Prof. Cécile Hébert



Video

Pour utiliser les lois de Newton, il faut avoir des forces. Certaines sont des modèles phénoménologiques, d'autres sont des forces fondamentales de la nature. Ici, nous allons voir la tension dans une corde inextensible et sans masse, à nouveau un modèle phénoménologique.

Notes

Summary

0m 05s

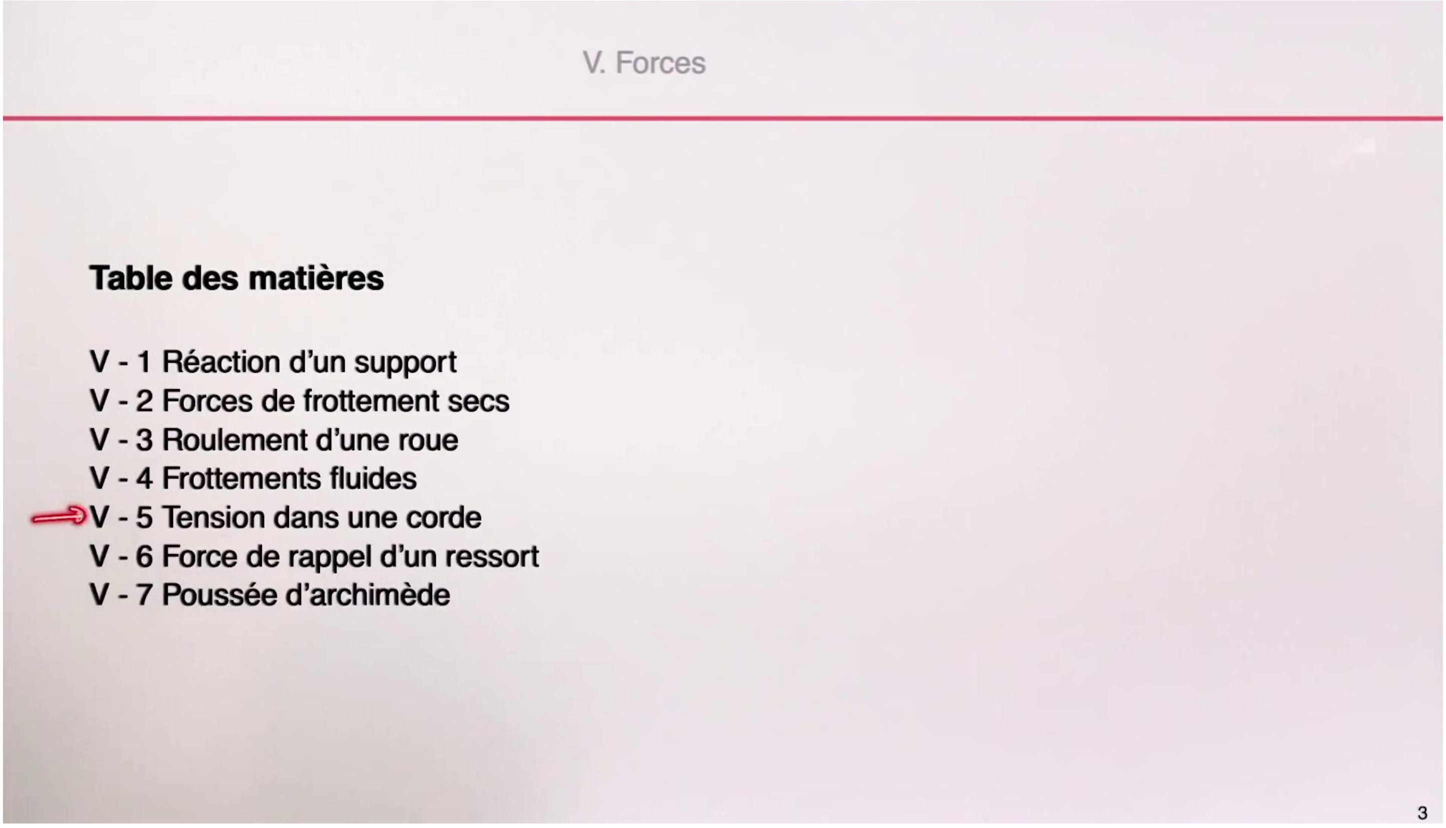
Plan du cours

I - Cinématique
II - Référentiel accélérés
III - Lois de Newton
IV - Balistique – effet d'une force constante et uniforme
V - Forces ; application des lois de Newton
VI - Travail, Energie, principes de conservation
VII - Chocs, systèmes de masse variable
VIII - Oscillateur harmonique
IX - Moment cinétique ; Gravitation
X - Solide indéformable
XI - Application du solide indéformable

Notes

Summary

0m 22s

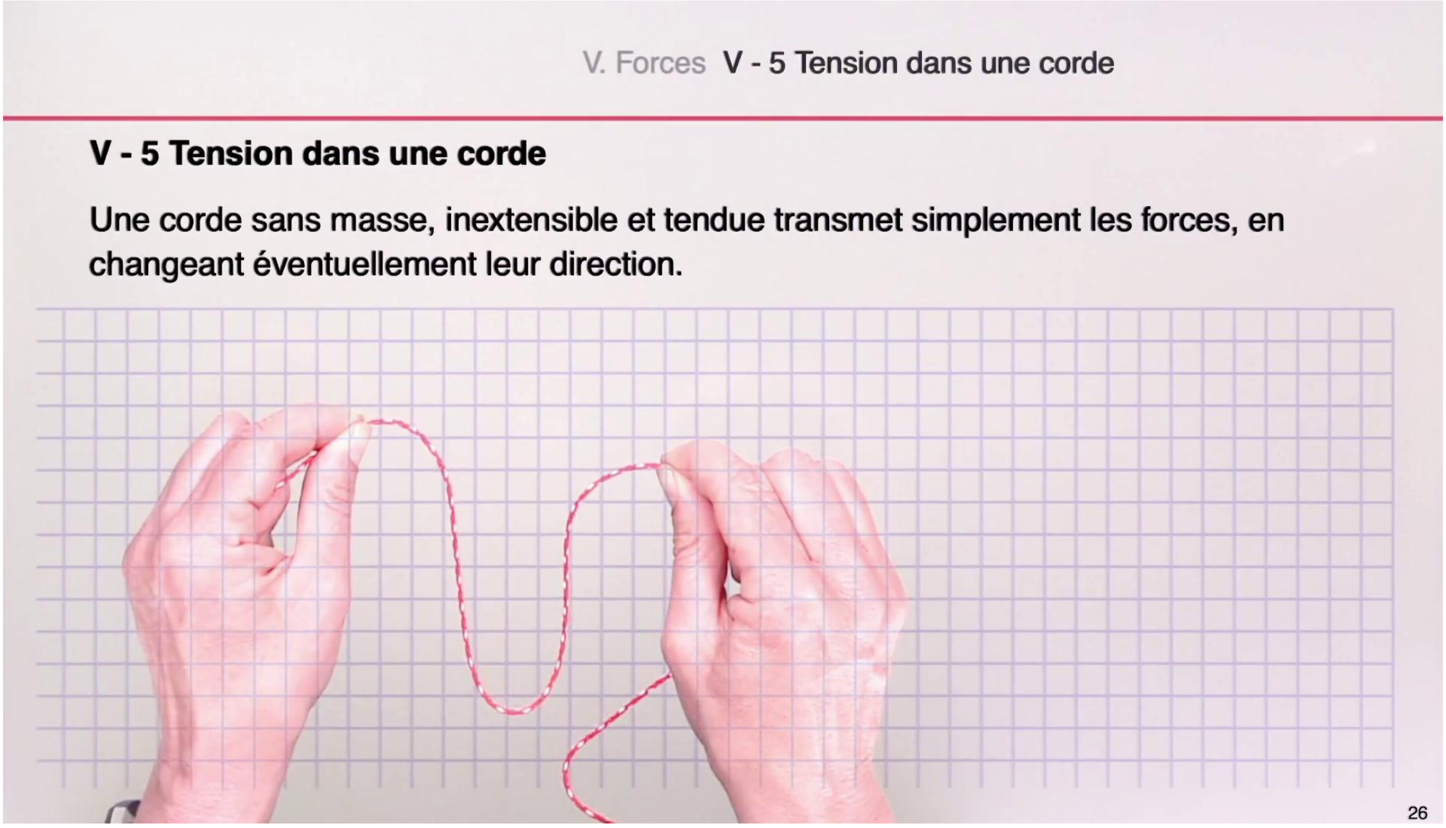


Nous sommes dans le chapitre 5, Forces; application des lois de Newton, et nous allons voir la Tension dans une corde.

Notes

Summary

0m 22s

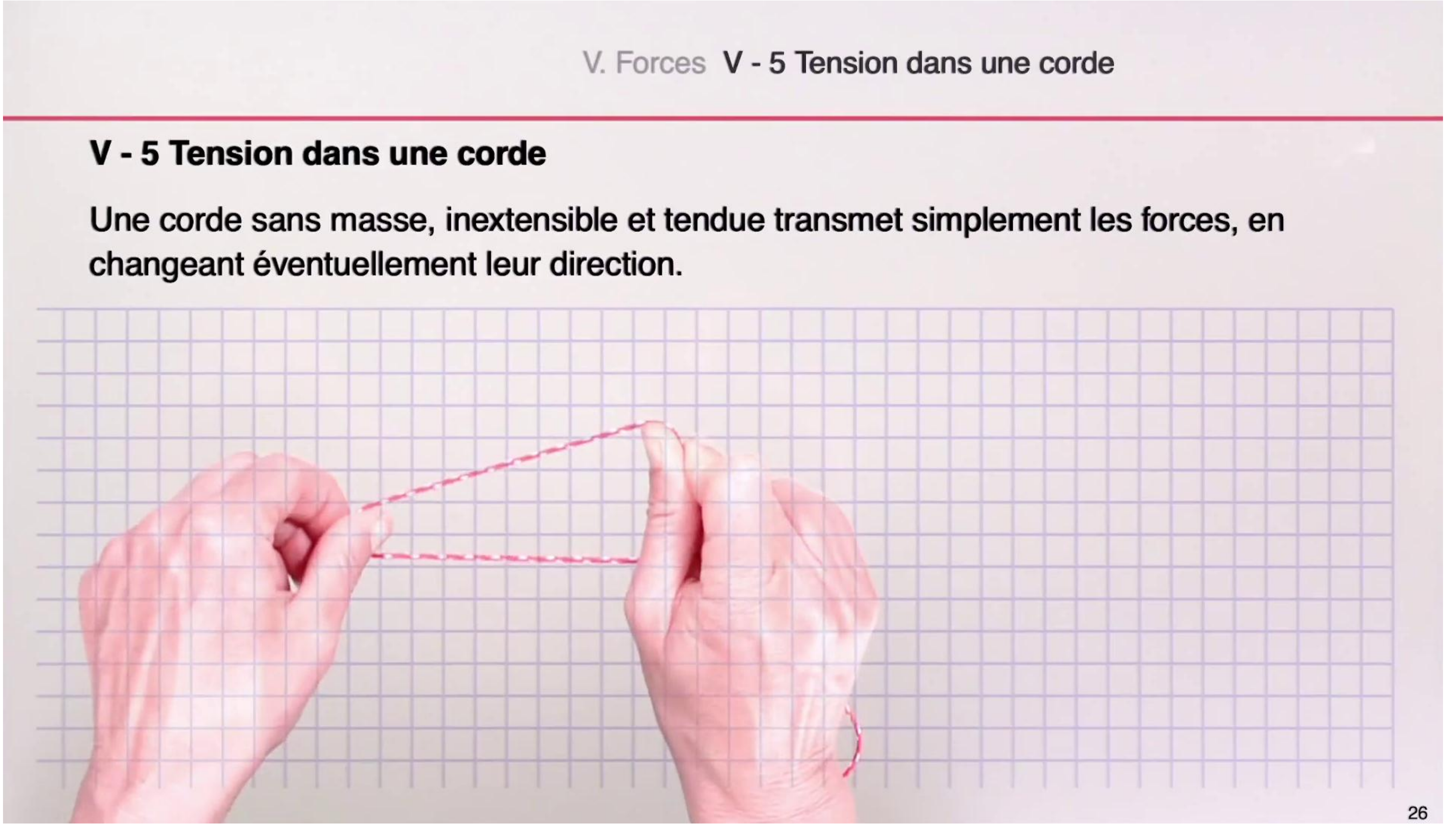


Nous allons considérer une corde sans masse, inextensible et tendue. Typiquement, un petit morceau de corde comme celui-ci. Sans masse signifie qu'on néglige la masse par rapport au reste du système. Inextensible signifie que je peux tirer dessus et sa longueur ne changera pas. Et tendue parce que la corde ne peut exercer des forces qu'en tension. Si j'essaye de la comprimer, elle se met à tirebouchonner et n'exerce aucune résistance.

Notes

Summary

0m 30s

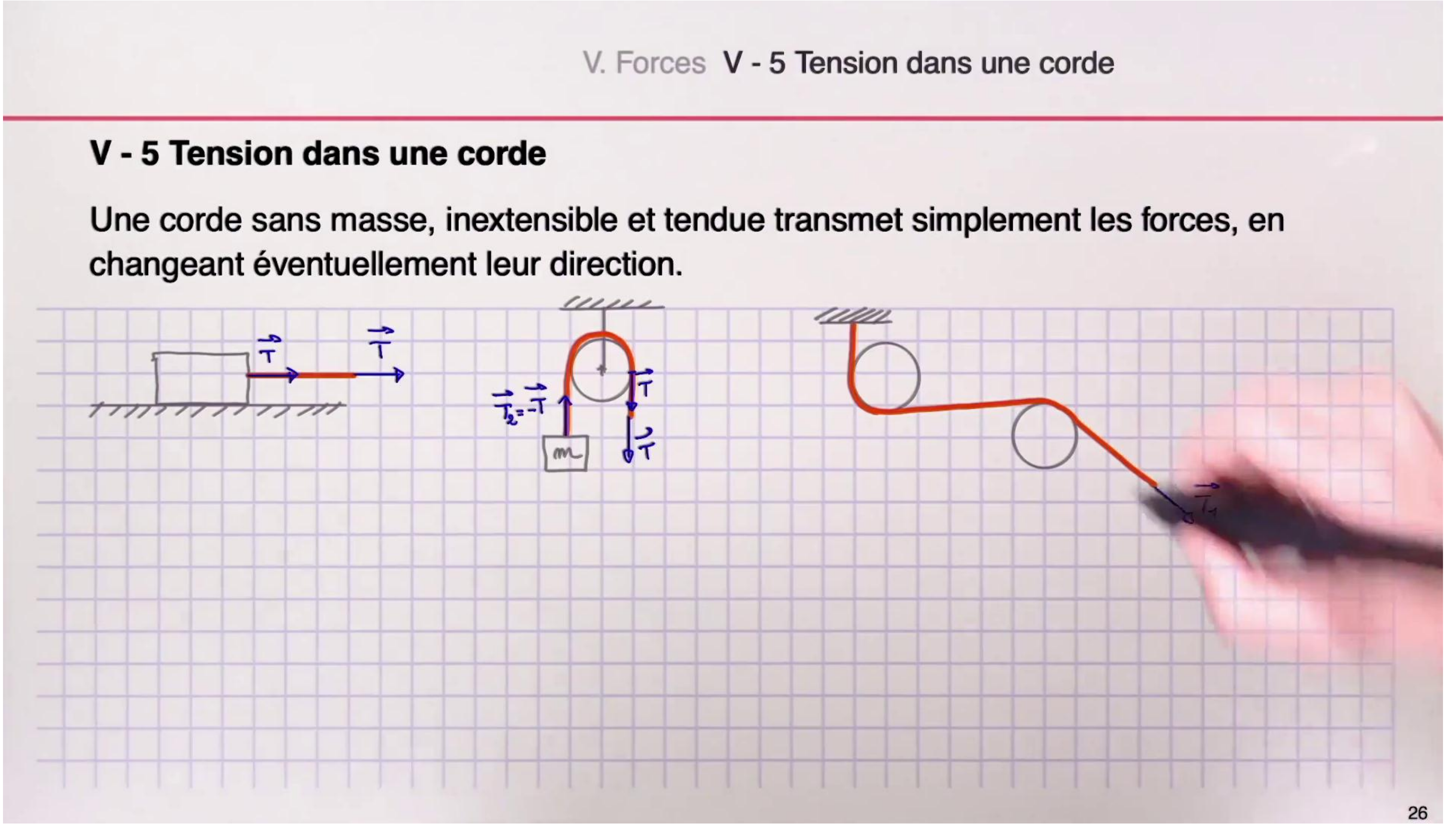


On dit que cette corde transmet les forces et éventuellement en changeant leur direction.

Notes

Summary

1m 05s



Commençons par la situation suivante. Je prends un bloc de masse m posé sur le sol, et tiré par une corde. Si j'exerce à l'extrémité de cette corde une tension T, la corde va elle-même exercer sur le bloc la même tension T. Considérons maintenant une deuxième situation. J'ai une poulie fixe tournant autour d'un axe. Par-dessus cette poulie, je fais passer une corde. D'un côté, la corde est reliée à une à une masse m et je tiens l'autre côté en exerçant une tension T. Je retrouve la tension T à l'interface corde/poulie. Cette tension est transmise, et je vais retrouver une tension de même norme de l'autre côté à l'interface avec la masse. Même norme, mais pas même direction. Je vais donc l'appeler T2. Dans ce cas, T2 est égal à -T. Je peux avoir des situations plus complexes encore, avec deux poulies et des cordes changeant complètement de direction. Imaginons que j'accroche cette corde au plafond et que j'exerce une tension T1 à son autre extrémité. Je vais avoir une tension T2 à l'interface avec la poulie, T3 de l'autre côté de la poulie numéro 1, T4 à la première interface avec la deuxième poulie, T5 à la deuxième interface avec la deuxième poulie et T6 avec le mur.

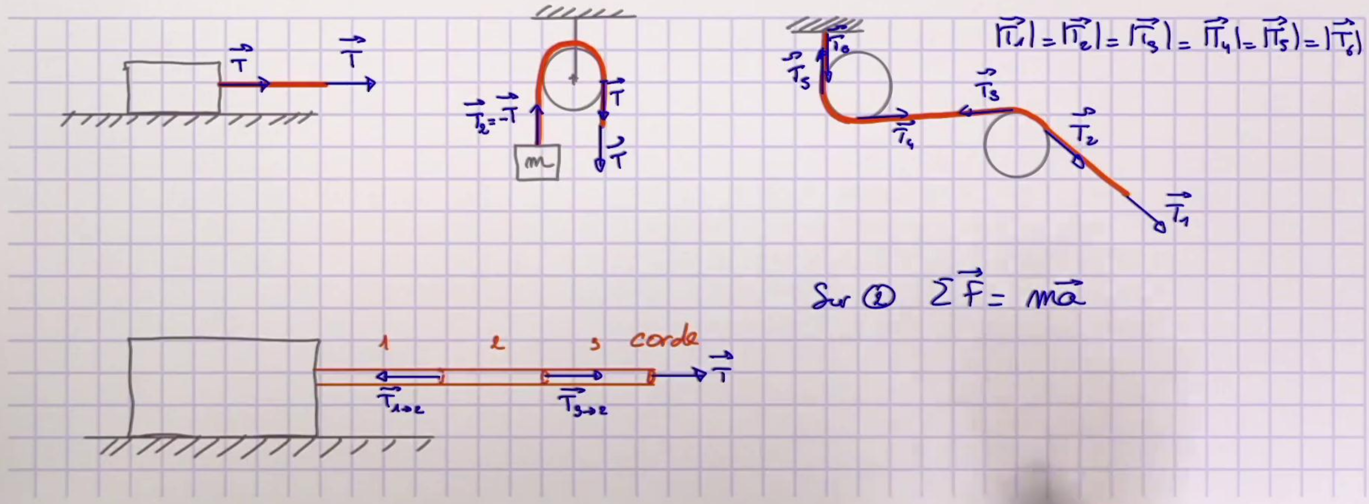
Notes

Summary

1m 12s

V - 5 Tension dans une corde

Une corde sans masse, inextensible et tendue transmet simplement les forces, en changeant éventuellement leur direction.



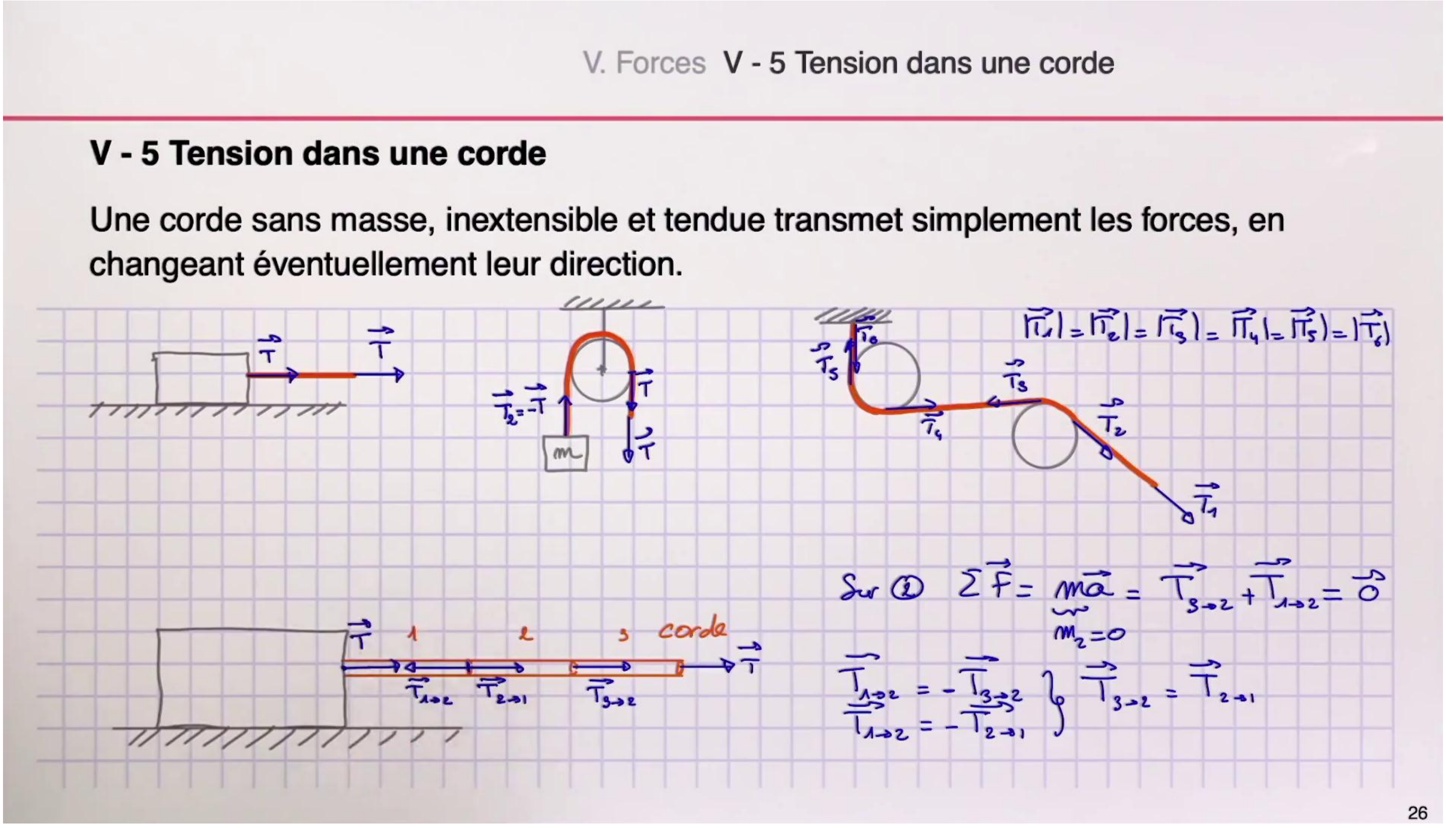
26

En normes, T1 = T2 = T3 = T4 = T5 = T6. Pourtant, les directions de ces vecteurs ne sont pas les mêmes, ce ne sont pas des vecteurs égaux. La corde a transmis la tension le long de ce système. Cette transmission des tensions est valable que le système soit immobile, en mouvement rectiligne uniforme ou même pour un mouvement accéléré. Nous allons maintenant voir pourquoi c'est le cas. Pour cela, nous devons regarder plus précisément ce qu'il se passe à l'intérieur de la corde. Je vais donc faire un dessin agrandi. Je suppose que j'ai un bloc de masse M posé sur le sol et tiré par une corde. Je vais faire un zoom sur ma corde en l'agrandissant. Je vais diviser ma corde en trois morceaux, 1, 2 et 3. Je suppose que j'exerce une tension T à l'extrémité de la corde. Je vais maintenant prendre comme système le morceau 2. Je vais regarder les forces qui s'exercent dessus. D'un côté, j'ai la force exercée par le morceau 3 sur le morceau 2. Je vais l'appeler T3-2. De l'autre côté, j'ai la force exercée par le morceau 1 sur le morceau 2. Je vais l'appeler T1-2. Sur le morceau 2, je peux écrire somme des forces égale ma. Les forces qu'ils exercent sur ce morceau 2 sont uniquement T3-2 et T1-2.

Notes

Summary

2m 58s

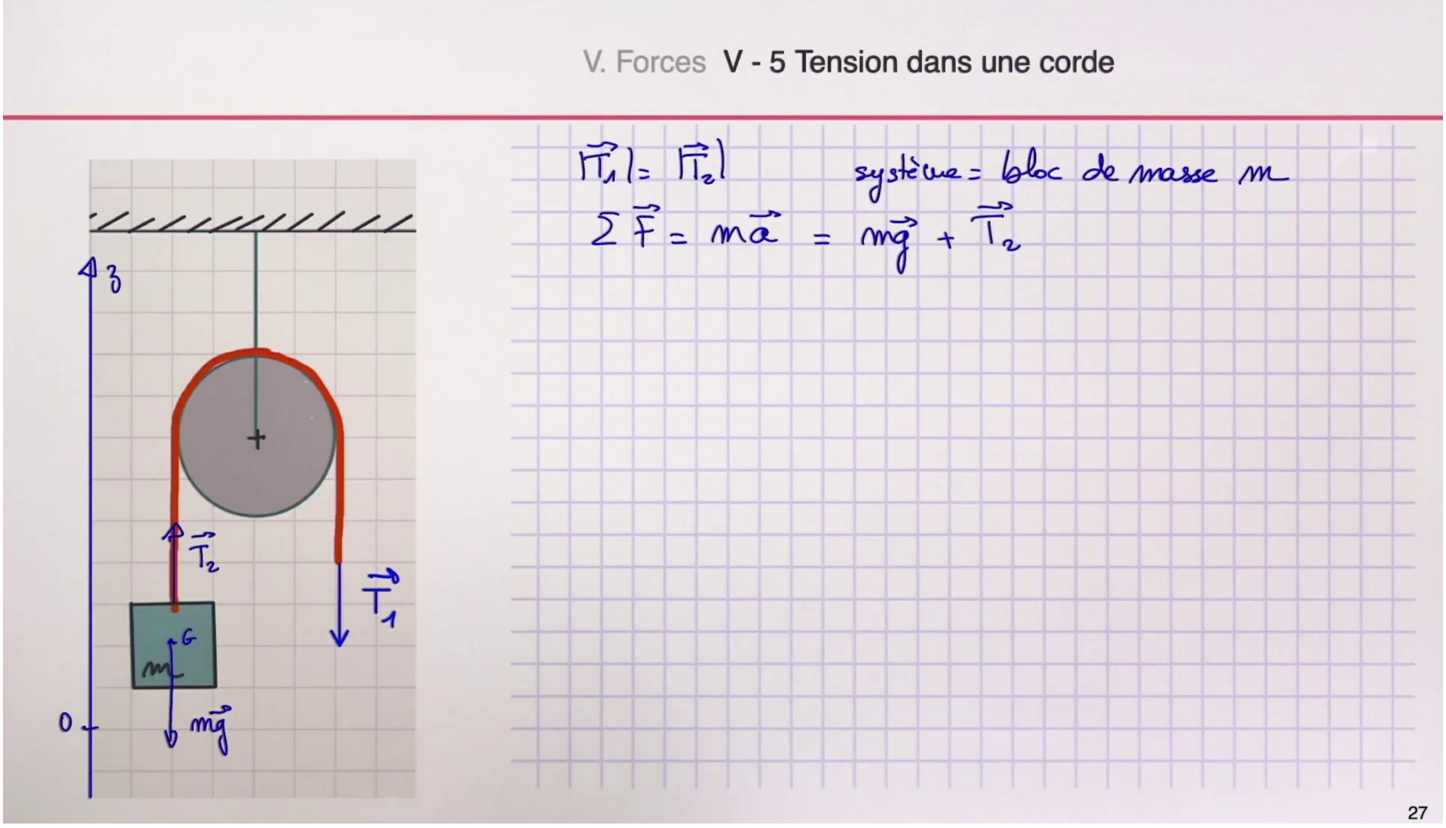


Je n'ai pas de poids puisque j'ai considéré une corde sans masse. Corde sans masse signifie donc que m2, la masse du morceau 2, vaut 0. Lorsque j'écris somme des forces égale à ma, c'est ici m2, c'est donc 0. Donc, la somme des forces vaut 0, même si l'accélération est non nulle. Dans tous les cas, je vais avoir T1-2 = -T3-2. Or, la tension 1 sur 2, par le principe action, réaction, est égale à moins la tension de 2 sur 1. Nous pouvons conclure que la tension du morceau 3 sur le morceau 2 est égale à la tension du morceau 2 sur le morceau 1. Le morceau 2 a transmis la tension T3-2 qui était égale à T2-1. En procédant ainsi morceau par morceau, on voit que T va être égal à T3-2, va être égal à T2-1 et au final, cela sera égal à la tension exercée par la corde sur le bloc. On retrouve ici la tension T.

Notes

Summary

5m 01s

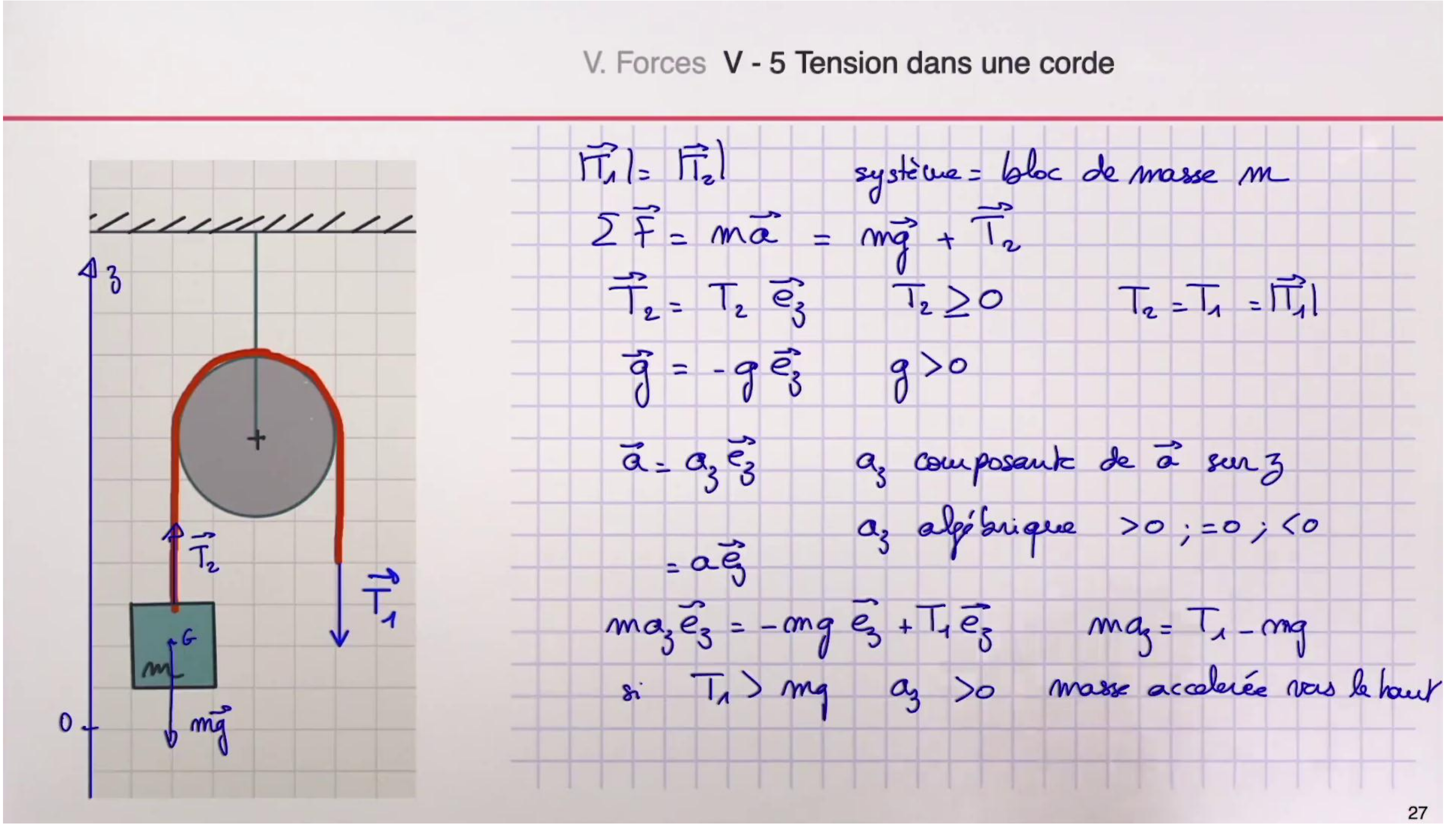


Voyons maintenant comment utiliser cela pour analyser le cas le plus simple dans lequel j'ai une poulie fixe, ici fixée au plafond, par-dessus laquelle je fais passer une corde sans masse et à une extrémité, j'accroche un bloc de masse m et à l'autre extrémité, j'exerce une tension T1. La transmission des tensions nous permet de dire que la corde exerce sur le bloc une tension T2 et que nous avons en norme T1 = T2. La direction de T2 est donnée par la direction de la corde. Une deuxième force s'exerce sur le bloc de masse m, c'est son poids mg exercé au centre de masse. Nous allons chercher à analyser le mouvement du bloc de masse m. Notre système sera donc le bloc de masse m. Le référentiel sera celui du laboratoire et pour analyser le problème, je vais prendre un repère Oz orienté vers le haut. Je choisis une origine. Je peux écrire la deuxième loi de Newton sur m, somme des forces égale ma. a étant l'accélération du bloc de masse m. Les seules forces qui s'exercent sur le bloc sont le poids mg et la tension T2. Ici, il faut faire bien attention. Nous allons traiter le vecteur T2 et le vecteur accélération de manière différente. En effet, je connais le sens du vecteur T2.

Notes

Summary

6m 29s

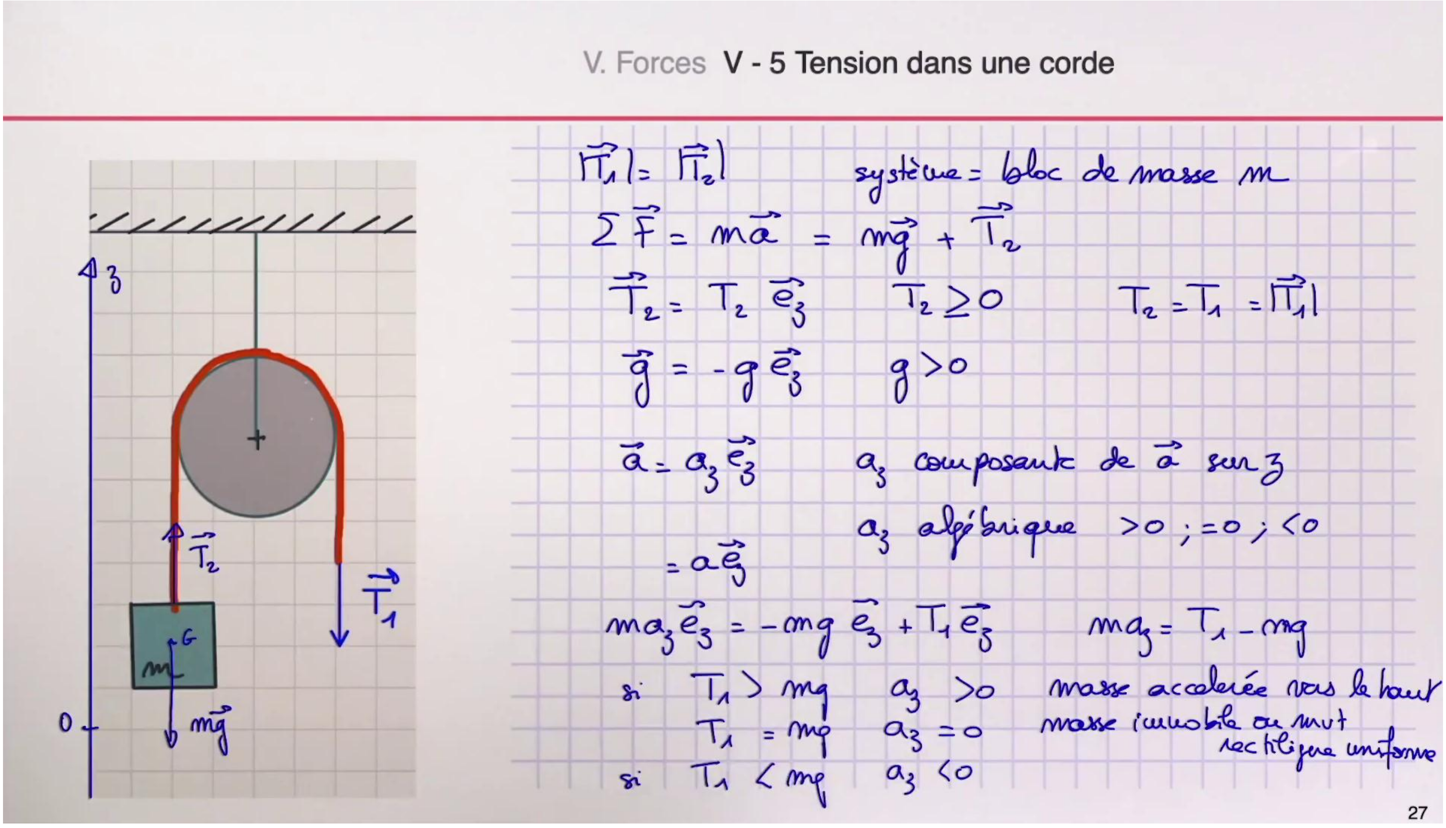


La corde ne pouvant que travailler en tension, elle ne pourra pas pousser sur le bloc. Je ne pourrais pas avoir un T2 orienté vers le bas. Je sais donc que T2 en vecteur est égal à T2 fois ez et que forcément T2 est positif ou nul. T2 est égal à T1 qui est la norme de T1. Le vecteur accélération de la pesanteur g est orienté vers le bas. Il est donc toujours égal à -gez, avec g strictement positif. Par contre, le vecteur accélération peut être vers le haut ou vers le bas. Si je tire assez fort, la masse va monter. Si je n'arrive pas à tirer assez fort, elle va descendre. Je peux bien avoir une composante de la vitesse ou de l'accélération positive ou négative. Je peux donc écrire a = azez avec az, la composante de l'accélération sur z. az est algébrique, donc positive, peut être aussi égale à zéro ou peut être négative. Puisque le problème est à une dimension, souvent, on omettra le z et on écrira tout simplement a. J'écrirai donc l'accélération est égale à aez. Cela me donne pour la seconde loi de Newton, mazez = -mgez+T1ez. Projeté sur ez, j'obtiens donc maz = T1-mg. Si T1 est supérieur à mg, az est positive, la masse est accélérée vers le haut. C'est logique.

Notes

Summary

8m 17s

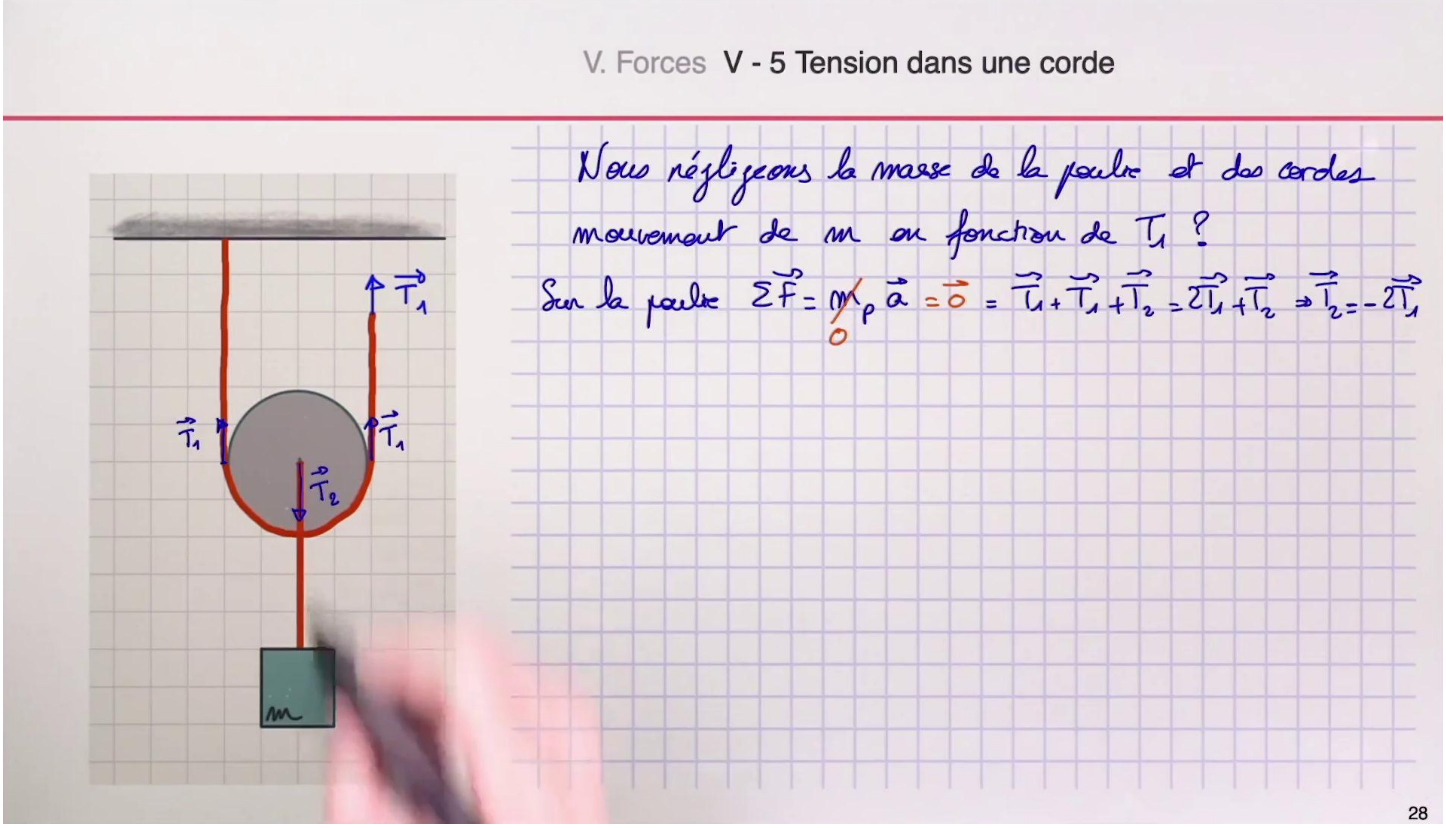


Cela signifie que si je tire assez fort pour contrer le poids, je vais pouvoir faire monter la masse. Si T1 = mg, az = 0, la masse est soit immobile, soit un mouvement rectiligne uniforme. Si T1 est inférieur à mg, az est négatif, à ce moment-là, la masse est accélérée vers le bas. Je ne tire pas assez fort, je n'arriverai pas à la faire monter, je n'arriverai même pas à la maintenir immobile.

Notes

Summary

10m 30s

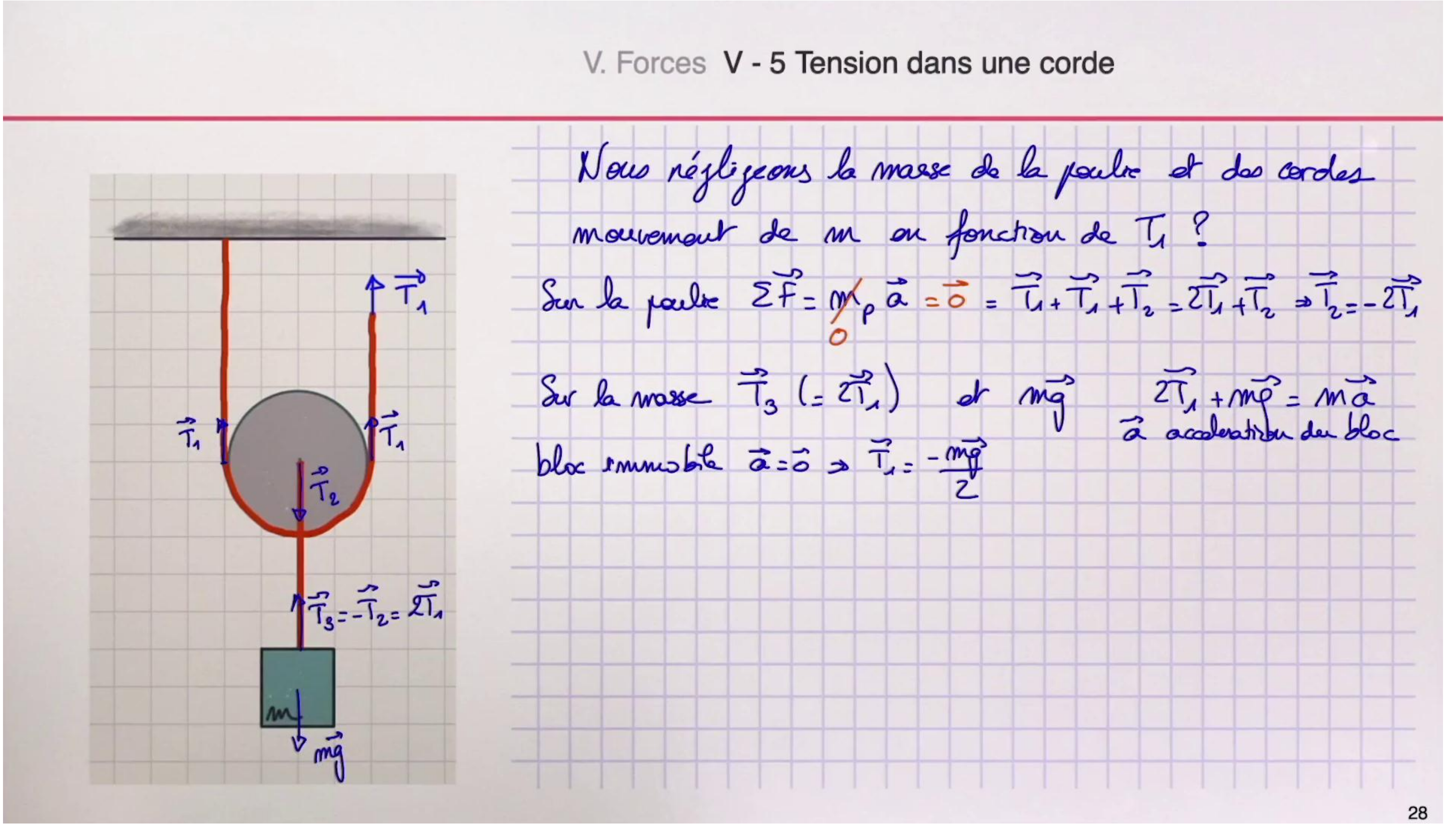


Voyons maintenant un deuxième exemple plus complexe dans lequel j'ai une poulie mobile. Autour de cette poulie passe une corde. D'un côté, la corde est fixée au plafond et de l'autre côté, je tire dessus avec une tension T1. Nous cherchons à analyser le mouvement de la masse m. Ici, nous avons ce que nous appelons une poulie à deux brins. Nous allons voir pourquoi. Nous considérons les cordes comme inextensibles et nous négligeons aussi la masse de la poulie. Nous cherchons à analyser le mouvement de m en fonction de T1. Commençons par les forces. La corde transmet les tensions. Je retrouve donc T1 exactement ici. Lorsque je suis la corde, de l'autre côté de la poulie, je trouve une force qui a la même norme. Comme en plus, elle a le même sens et la même direction, je vais aussi retrouver T1. Par ailleurs, sur la poulie, s'exerce la tension de la deuxième corde. Celle-ci va s'appeler T2. Sur la poulie, somme des forces égale masse de la poulie fois l'accélération. Or, la masse de la poulie valant zéro, ceci vaut zéro. Les forces sont T1+T1+T2, soit 2T1 + T2, j'en conclus donc que T2 vaut -2T1. Mon vecteur T2 vaut donc deux fois le vecteur T1.

Notes

Summary

11m 08s

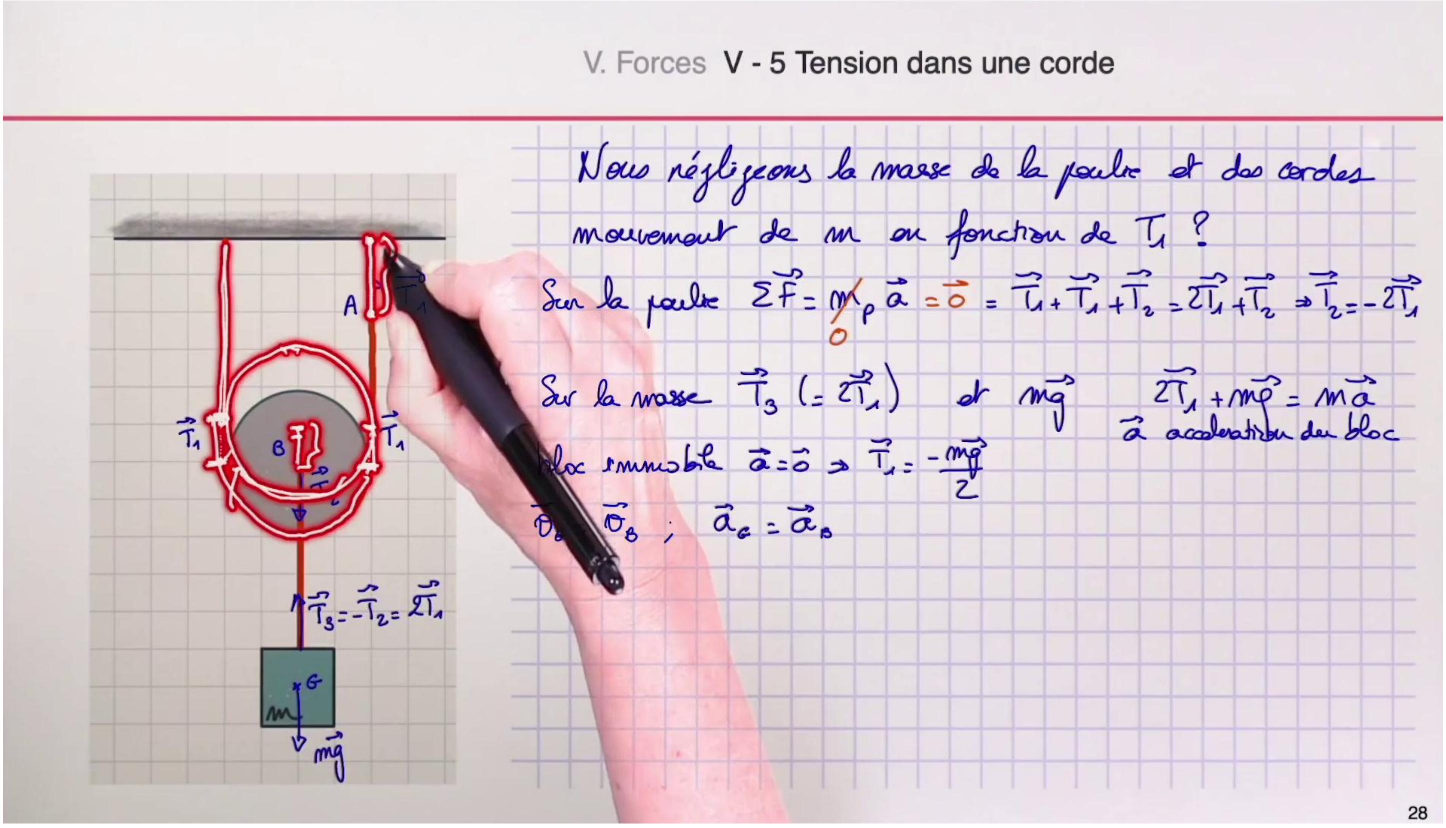


La deuxième corde, qui est celle accrochée à la masse, transmet également les tensions. Je retrouve de l'autre côté un vecteur T3 qui a la même norme que T2, mais qui est dirigé dans l'autre sens. C'est donc -T2. Comme T2 valait -2T1, T3 est donc égal à 2T1. Sur la masse, les forces qui s'exercent sont T3 qui est égale à 2T1 et le poids mg. Lorsque je vais analyser les forces sur le bloc, je devrais prendre en compte mg, le poids et T3 qui est égal à 2T1. J'ai obtenu ce 2T1 par la géométrie du système à deux brins. J'aurai donc ici 2T1+mg=ma, accélération du bloc. Si je souhaite avoir un bloc immobile, l'accélération vaut 0 et j'ai donc T1 = -mg/2. Je peux retenir ce bloc-là avec une force qui vaut la moitié du poids. Ça n'est possible que parce que la poulie est accrochée au plafond et que je transmets l'autre moitié du poids au plafond. Donc, je me sers du plafond et de cette poulie mobile pour maintenir immobile un objet que je n'arriverai pas à maintenir immobile sans cela. Maintenant, comment faire pour analyser les accélérations d'un système comme celui-ci ? Nous allons comparer l'accélération du point A, qui est le point par lequel on tient la corde, à l'accélération du centre de la poulie, et l'accélération du centre de la masse.

Notes

Summary

13m 01s

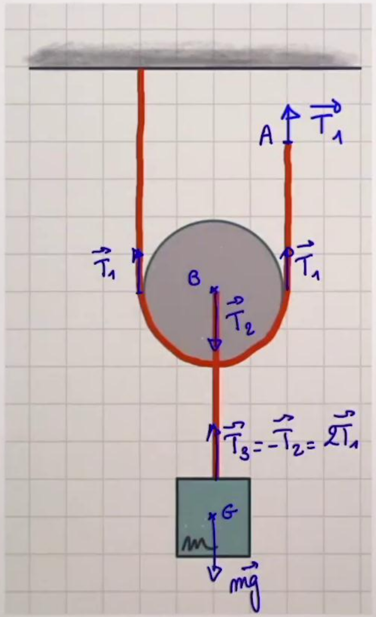


J'ai ici une corde qui est toujours en tension. La distance B et G ne change pas. L'accélération de la masse est la même que l'accélération du centre de la poulie B. GB reste constante. La vitesse du centre de masse est la même que la vitesse de B. Donc, la vitesse de G est égale à la vitesse de B. L'accélération de G est égale à l'accélération de B. Qu'en est-il de A ? Supposons que je fasse monter ma poulie de un carreau. Je vais donc retrouver ma poulie un carreau plus haut, très exactement. Le déplacement de B sera d'une longueur de 1 carreau. À ce moment-là, la corde accrochée ici aura été raccourcie d'une longueur d'un carreau. J'ai le même morceau de corde que je retrouve en bas qui va être en quelque sorte déplacé pour être à nouveau le long de la poulie et j'ai de nouveau un raccourcissement de un carreau de l'autre côté. J'ai donc dû raccourcir ma corde par rapport à la poulie de un carreau ici, un carreau là. Ces deux carreaux, il faut bien que je les mette quelque part et ils vont correspondre au déplacement du point A. Le point A sera donc lui monté de deux carreaux. Cela vient de ce que j'ai deux brins et que chaque brin a dû être raccourci du déplacement de B.

Notes

Summary

15m 09s



Nous négligeons la masse de la poulie et des cordes

mouvement de m en fonction de T_1 ?

Sur la poulie $\Sigma \vec F = \underbrace{\cancel{m}_p}_{0} \vec a = \vec 0 = \vec T_1 + \vec T_1 + \vec T_2 = 2\vec T_1 + \vec T_2 \Rightarrow \vec T_2 = -2\vec T_1$

Sur la masse $\vec T_3$ $(= 2\vec T_1)$ et $m\vec g$ $\quad 2\vec T_1 + m\vec g = m\vec a$

$\vec a$ accélération du bloc

bloc immobile $\vec a = \vec 0 \Rightarrow \vec T_1 = -\frac{m\vec g}{2}$

$\vec v_G = \vec v_B$; $\vec a_G = \vec a_B$

déplacement de A = 2 × déplacement de B

$\vec v_A = 2 \times \vec v_B = 2\vec v_G$

$\vec a_A = 2\vec a_B = 2\vec a_G$

On a divisé les forces par 2 mais multiplié le déplacement par 2.

28

Le déplacement de A est donc égal à deux fois le déplacement de B. Donc la vitesse du point A est égale à deux fois la vitesse du point B. Or, comme la vitesse de B était égale à la vitesse de G, c'est aussi égal à deux fois la vitesse de fois la vitesse de G. Lorsque je vais dériver, je vais retrouver la même chose pour l'accélération. L'accélération de A est égale à deux fois l'accélération de B, donc deux fois l'accélération de G. L'accélération du point de contact avec la corde est égale à deux fois l'accélération de la masse. En d'autres termes, je peux soutenir ma masse avec une force qui fait la moitié de son poids, mais lorsque je veux la faire monter d'une certaine distance, je devrais tirer deux fois plus sur la corde que la distance que j'ai là. J'ai donc divisé les forces par deux, mais j'ai multiplié le déplacement que je dois faire par deux.

Notes

Summary

16m 54s

Voilà, nous avons vu la notion de tension dans une corde. Ce qui était important ici pour la simplification du modèle, c'était d'avoir une corde sans masse. Il est bien entendu possible de traiter un modèle avec une corde massique, mais il faudra tenir compte de manière différentielle des différents morceaux de la corde. C'est beaucoup plus complexe.

Notes

Summary

18m 07s