

E X P E R I E N C E S

Pour connoître si la force des cordes surpasse la somme des forces des fils qui composent ces mesmes cordes.

Par M. DE REAUMUR.

21 Fevr.
1711.

ON est dans le préjugé de croire qu'une corde composée de differens fils tortillez ensemble, a une force qui surpasse la somme des forces de tous les fils qui la composent. Je veux dire, que si l'on forme une corde avec six fils, par exemple, tels que chaque fil ne puisse soutenir qu'un poids de cinq livres sans se rompre, qu'on croit communément que la corde formée de ces six fils pourra porter un poids de plus de 30 livres; divers sçavans sont là-dessus d'accord avec le vulgaire, comme j'eus occasion de le voir par les objections que me firent des personnes des plus illustres de l'Academie, sur un endroit du memoire où j'examinois la soye des araignées; il s'agissoit dans cet endroit de la force des fils de soye; un habile Geometre prétendit mesme avoir la démonstration de la proportion dans laquelle le *tortillement*, qu'on me souffre ce terme, il est commode & j'en auray souvent besoin dans la suite, de la proportion dis-je, dans laquelle le tortillement augmente la force de la corde, au-dessus de la somme des forces de tous les fils.

Il me paroissoit au contraire que c'estoit sans avoir examiné la chose d'assez près, qu'on s'estoit imaginé que le tortillement augmente la force des cordes, que tout bien considéré on trouveroit peut-estre que loing de l'augmenter, qu'il l'a diminué; & que c'estoit là un de ces problemes de Physique que l'on ne peut résoudre que par des experiences Physiques. D'ailleurs je crus qu'il seroit de quelque utilité à la Mécanique de chercher à le résoudre.

On s'exposeroit souvent à faire rompre les cordes qu'on emploie, si on comptoit trop sur leurs forces.

Tout ce qu'on fait en formant des cordes, ou en entortillant des fils les uns autour des autres, c'est de les mettre tous en état de contribuer de quelque chose à soutenir la force, ou le poids que l'on fera agir contre cette corde; & en même temps on dispose chaque fil de façon qu'il est plus aisé de le rompre, que de le faire glisser, ou que de le dégager d'entre ceux qui l'enveloppent. C'est ce qui donne la facilité de faire des cordes très-longues, avec des fils très-courts, comme nous le voyons dans les cordes de chanvre, de lin, & dans celles de laine, & de soye; car nous pouvons regarder, comme de petites cordes, les brins de soye, & de laine dont on se sert dans l'usage ordinaire. Chaque fil étant pressé contre ceux qui l'environnent, & étant entortillé avec ces mêmes fils, opposé par son frottement une telle résistance à la force qui le tire, qu'il est plus difficile à cette force de vaincre la résistance du frottement, que de casser le fil.

Mais s'enfuit-il de cette disposition des fils, que la somme de leurs forces soit plus petite ou plus grande, que ne l'est la force de la corde! C'est ce qu'il n'est pas possible de décider par le seul raisonnement. On voit bien qu'en tortillant plusieurs fils ensemble, l'on raccourcit chaque fil, & que la corde gagne en grosseur, ce que chaque fil perd en longueur; si l'on regarde la corde seulement de ce côté-là, il est clair que sa force est augmentée; Car toutes choses d'ailleurs égales, les plus grosses cordes sont les plus fortes. Si par exemple, on forme une corde en tortillant cinq fils les uns autour des autres, & que le tortillement raccourcisse chaque fil d'un cinquième, il est évident que la grosseur de la corde profite des $\frac{5}{5}$ dont la longueur des fils est diminuée; d'où il semble déjà que la force de cette corde devrait être égale à la somme des forces que six fils pourroient soutenir séparément.

Il y a encore un autre endroit par lequel le tortillement

8 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE

paroît augmenter la force de la corde , il est causé que le poids qui tire la corde , tire obliquement chaque fil , desorte qu'une partie de ce poids est employée à presser ces fils les uns contre les autres ; estant moins tirez chacun selon leur longueur , la corde qu'ils composent pourroit estre en estat de résister à un effort plus grand , que celuy que peuvent soutenir tous les fils qui la composent , lorsqu'ils sont tirez perpendiculairement.

Ce sont là les costez favorables par lesquels on peut envisager le tortillement , Mais on verra que par d'autres endroits il affoiblit la force des cordes , si l'on veut faire attention qu'afin qu'une corde eust une force égale à la somme des forces des fils qui la composent , il faudroit que le poids attaché à une de ses extrémités , n'agist contre chaque fil , qu'à proportion de la force de ce fil. Car si des fils plus foibles se trouvent aussi chargez que des fils plus forts , ou que des fils d'égale force se trouvent beaucoup plus chargez les uns que les autres , ils se casseront & tout le poids retombera sur les fils qui estoient auparavant les moins chargez. Or le poids qui tire une corde , tire chaque fil qui la compose , plus ou moins , à proportion que ce fil est plus ou moins tendu & plus ou moins gros ; & en tortillant ces fils , il n'est pas possible de les disposer de façon que les foibles soient moins tendus que les autres , quelquefois les plus gros sont les plus foibles ; chaque fil ne contribuë donc pas à proportion de sa force à soutenir le poids. Et si dans une corde composée de six fils , par exemple , il y en a quatre qui ne contribuënt que de la moitié de leurs forces à soutenir le poids , la corde ne doit plus estre considérée que comme si elle estoit composée de quatre fils.

D'ailleurs puisque en tortillant les fils , on les tend ; il est clair que le tortillement équivaut luy-même à un poids qui tireroit chaque fil , & à un poids plus ou moins grand , selon que la tension qu'il produit est plus ou moins grande. C'est-à-dire , que plus ce fil est tendu , moins il est en estat de soutenir un poids égal à celuy qu'il soutiendrait naturellement

rellement. Le tortillement seul suffit quelquefois pour rompre les fils, comme on l'expérimente lorsqu'on veut les tortiller trop les uns autour des autres.

Le même tortillement qui augmente la force des cordes par certains endroits, la diminue donc par d'autres endroits. Mais l'augmentation surpasse-t-elle la diminution ! C'est surquoy la Geometrie n'a de prise, qu'autant qu'on fera des suppositions arbitraires, qui par conséquent ne décideront rien. On ne sauroit connoître si entre ces suppositions on a choisi celles qui sont conformes aux effets de la nature. Il faut donc icy, comme dans tous les doutes Physiques, avoir recours aux expériences ; celles dont il est question sont simples & aisées à exécuter. Je vais rapporter exactement une partie de celles que j'ai faites, elles apprendront ce qu'on doit penser de l'augmentation de la force des cordes, sur celle de la somme de leurs fils.

J'ay pris un peloton de fil blanc, tel qu'on s'en sert dans les usages ordinaires ; & ayant devidé un grand brin de ce fil, j'ay attaché à un de ses bouts, différents poids depuis une livre jusques à dix. Ce brin de fil a soutenu neuf livres & demie sans se casser, & s'est rompu lorsque je luy ay eû attaché un poids de dix livres. Il étoit donc évident que chacune des deux parties qui me restoit après la division de ce fil, pouvoient du moins porter un poids de neuf livres & demie, puisque elles l'avoient déjà soutenu sans se rompre. Je pliy ensuite en deux le plus long de ces deux bouts de fil, & tortillant les deux brins, que donnoit ce fil plié, l'un sur l'autre, je formay une petite corde composée de deux fils, chacun desquels pouvoit porter neuf livres & demie. Par conséquent si le tortillement eût augmenté la force de la corde, par dessus la somme de la force des fils qui la composoit ; cette petite corde auroit dû porter plus de dix-neuf livres ; elle étoit très-bien tortillée, sans l'être pourtant trop. Il est néanmoins arrivé que cette corde s'est cassée lorsque je luy ay eû suspendu un poids de seize livres, & qu'elle n'a soutenu que quinze livres & de-

1. Expe-
rience.

10 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE
mie sans se rompre. Loin que sa force fût augmentée
par le tortillement, elle étoit diminuée d'environ un si-
xième.

2. Expe-
rience.

J'ay ensuite attaché un poids de six livres & demie à un
autre fil tiré du même peloton, il l'a soutenu sans se rom-
pre, & s'est cassé lorsque je lui ai fait porter sept livres. J'ay
de même attaché divers poids à deux autres fils, dont le
premier a résisté à un poids de huit livres, & s'est cassé à
huit livres & demie; & le second a soutenu huit livres &
demie & s'est cassé à neuf. J'ay pris les plus longs bouts de
chacun de ces trois fils, & en les tortillant j'ay composé une
petite corde de trois fils. La somme des forces de ces trois
fils étoit du moins capable de soutenir un poids de vingt-trois
livres. La corde s'est cependant rompue lorsqu'elle a été char-
gée de dix-sept livres & demie; le tortillement l'avoit donc
considérablement affoiblie!

3. Expe-
rience.

Ayant de même pris quatre brins de fil, & connu, par les
experiences, que le premier pouvoit soutenir huit livres &
demie, & qu'il s'étoit cassé à neuf; que le second pouvoit
porter six livres & demie, & qu'il s'étoit cassé à sept, & que
les deux autres avoient porté sept livres, & s'étoient cassé à
sept & demie: j'ai fait une corde en tortillant ces quatre fils. Je
sçavois, par les experiences dont je viens de parler, que la
somme des forces de ces fils pouvoit du moins aller jusques à
soutenir un poids de 29 livres. J'ay donc aisément connu que
la force de cette corde étoit moindre que celle de la somme
des fils, lorsque je l'ai vû se rompre après y avoir suspendu un
poids de 21 livres & demie.

4. Expe-
rience.

Pour confirmer les experiences precedentes, j'ay fait
une nouvelle corde comme cy - dessus composée de cinq
fils, quatre desquels avoient porté sept livres & s'étoient
cassé à sept livres & demie; & le cinquième avoit porté
6 livres, & s'étoit rompu à six livres & demie. La somme
de la force de ces fils étoit donc du moins de 23 livres;
la corde cependant s'est rompue après avoir soutenu quel-
que temps un poids de 22 livres. Comme j'avois connu par

les expériences précédentes, & par diverses autres que je ne crois pas nécessaire de rapporter, que le fil dont je me servois, avoit dans les endroits les plus foibles autant de force qu'il en faut pour soutenir un poids de six livres, & que sa force alloit souvent jusques à soutenir neuf livres; je crûs que j'étois en droit de faire ensuite mes calculs, sans examiner davantage la force des brins de fils que j'employois; & que lorsque je trouverois que la force de la corde seroit moindre que celle de la somme des fils, en les regardant comme ne pouvant porter chacun que six livres, que je ne courrois aucun risque de me tromper, puisque je n'avois jamais trouvé la force de ces fils plus petite, & que je l'avois ordinairement trouvée plus grande. J'ay donc encore fait différentes cordes avec le même fil, parce qu'on ne sçauroit trop repeter les expériences avant que d'en conclure quelque chose.

Je fis une corde de six fils; elle auroit dû pour le moins soutenir 36 livres si la force eût été égale à celle de la somme des fils, & cette corde se rompit par le poids de 31 livres. 5. Expérience.

Une corde de dix fils très-bien tortillez, qui auroit dû porter pour le moins 60 livres, si sa force n'eût pas été moindre que celle de la somme des fils, s'est rompue, chargée par 50 livres. 6. Expérience.

Ayant fait une corde, en doublant le plus long des deux bouts qui m'estoit resté de la corde précédente; comme elle estoit composée de dix fils, on voit que j'en fis une corde de 20 fils, qui ne pouvoit porter moins de 120 livres sans être plus foible que la somme des fils, & moins de 100 si la force n'étoit pas diminuée par le dernier tortillement. Un poids de 80 livres fit casser cette corde; elle étoit donc encore diminuée de force par le dernier tortillement? 7. Expérience.

Une autre corde faite de 28 fils, qui auroit pour le moins porté 168 livres, si le tortillement n'eût pas diminué la force de la corde, a été cassée par un poids de 82 8. Expérience.

12 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE

livres. J'ay fait diverses autres experiences qui ont eû le même succès, & qu'il seroit inutile de rapporter, en voilà de reste. Afin neantmoins qu'on ne s'imagine pas que les cordes que je faisois étoient trop, ou trop peu tortillées, & que peut-être la même chose n'arrive pas aux cordes de fil, ou de chanvre, faites par les cordiers, j'ai éprouvé de ces dernieres. Entre les diverses experiences que j'ay tentées sur ces sortes de cordes, je me contenteray de rapporter les deux suivantes, parce que toutes celles que j'ay faites n'ont pas réussi differemment.

9. Expe-
rience.

J'ay pris une petite corde de chanvre, très-bien faite par un cordier; elle étoit formée de trois autres petites cordes, chacune desquelles étoit composée de deux gros fils de chanvre. Je donne le nom de fils, aux cordes qui ne sont pas faites d'autres cordes plus petites; mais qui sont composées de divers brins de chanvre ou de lin. Ayant attaché un poids de 50 livres, à la corde dont je viens de parler, elle se rompit un instant après; comme cette corde me sembloit devoir être plus forte, je suspendis ensuite divers poids au plus long des bouts, qui m'étoit resté; il soutint 72 livres, & se cassa chargé par 75. Pour sçavoir si la somme des forces des trois petites cordes qui composoient celle-cy, étoit plus grande que celle de cette corde, je la detortillay, & ayant éprouvé la force de ces petites cordes par differens poids, je trouvay que l'une avoit porté 27 livres sans se rompre, l'autre 33 livres & la dernière 35 livres. La somme de la force de ces trois cordes étoit donc du moins égale à celle qu'il faut pour soutenir un poids de 95 livres? cependant la corde qu'elles composoient, s'étoit rompuë d'abord à 50 livres, & ensuite à 75: la force étoit donc beaucoup moindre que celle de la somme des fils?

Au reste il faut remarquer que si j'eusse cherché la force des deux fils, dont chacune des trois petites cordes étoit composée; la somme des forces de ces deux fils; eût été peut-être trouvée moindre, que celle de la petite

corde qu'ils composoient; & cela par une raison particulière aux cordes qui sont faites de brins moins longs que la corde même. C'est que chacun des brins ne peut exercer toute sa force, à moins que la résistance du frottement qu'il lui faut vaincre pour glisser, ne surpasse la force qu'a ce brin pour soutenir un poids. Or il arrive souvent que les fils ne sont pas assez tortillez, pour que les brins de chanvre ou de lin, qui les composent, ne puissent pas glisser plus aisément, qu'ils ne peuvent être rompus. Mais lorsqu'on fait une corde avec deux ou trois de ces fils; par exemple, les nouveaux tortillemens qu'on leur donne, ajoutent aux brins qui les composent, ce qui leur manquoit de frottement, & les mettent en état de pouvoir être rompus par une force moindre que celle qui est nécessaire pour les faire glisser; & dès lors que chaque brin pourra être plus aisément rompu que dégagé d'entre ceux qui l'entourent, la force de la corde sera toujours moindre que la somme des forces des fils, ou des brins qui la composent.

Une autre corde, à peu près de même grosseur que la précédente, servira encore de nouvelle preuve. Elle a soutenu un poids de 70 & s'est rompue, environ au milieu, par la pesanteur d'un poids de 72. J'ay attaché un poids de 75 au plus long des morceaux qui me restoit, pour voir si la corde n'étoit point cassée dans un endroit beaucoup plus foible que les autres; mais elle n'a pu soutenir le poids de 75 livres. Ayant cherché séparément la force des trois petites cordes, dont elle étoit faite; la première a porté 24 livres & s'est rompue à 28; la deuxième, a porté 28 livres & s'est rompue à 29; enfin la troisième, a soutenu 30 livres & ne s'est cassée qu'à 31. La somme des forces de ces trois cordes, étoit donc égale du moins à 82 & par conséquent plus grande que celle de la corde qui s'étoit cassée, tendue par un poids de 71 livres.

On ne peut douter que les expériences que j'ay faites, n'eussent réussi de la même maniere sur de plus grosses

cordes ; le grand nombre des fils , ou de petites cordes ne doit y apporter aucun changement. Mais les experiences auroient été beaucoup plus difficiles à executer , & les precedentes suffisoient. J'en rapporteray pourtant encore une que j'ay faite sur un brin de soye , tel qu'on s'en sert ordinairement pour coudre ; quelque petite que fût cette espece de corde . on peut la comparer aux plus gros cables , si l'on fait seulement attention au nombre des fils simples qui la composoient. Les fils de ce brin de soye estoient d'une finesse extrême ; aussi en contenoit - il un nombre bien plus grand que les brins , dont j'ay parlé dans l'*Examen de la soye des Araignées*. Car l'ayant séparé avec beaucoup d'attention & de patience , je l'ay divisé en 832 fils simples , au lieu que je n'avois trouvé que 200 fils dans les autres. Si ce calcul avoit quelque défaut , ce ne pourroit être qu'en ce qu'il seroit le nombre des fils plus petit qu'il n'étoit effectivement , parce que il pourroit fort bien être arrivé que l'extrême finesse de ces fils m'en eût quelquefois fait prendre deux pour un ; mais ce nombre ne scauroit être trop grand , parce qu'il ne m'est jamais arrivé de compter un fil sans l'avoir bien séparé des autres. J'avois même la précaution de le couper après l'avoir compté , de crainte qu'il ne m'arrivât d'en faire un double employ.

Mem. de
l'Acad.
1710 pag.
404.

Ces 832 fils composoient deux petites cordes differentes , qui étant tortillées l'une sur l'autre formoient le brin de soye : ayant attaché successivement differens poids à ce brin de soye , je trouvay qu'il soutenoit ordinairement 5 livres pendant quelques instans , après quoi il se rompoit ; mais sa force alloit très-rarement jusques à porter 5 livres & demie ; & dans un grand nombre d'experiences , il n'y eût qu'un cas ou deux , que 5 livres & demie ne le firent pas rompre. Ayant ensuite examiné la force des fils qui composoient ce brin de soye , je m'assuray par plusieurs experiences , que les plus foibles pouvoient soutenir un gros sans se rompre ; & les plus forts un gros & demi ; on voit que si ces fils étoient beaucoup plus fins que ceux ,

dont j'ay parlé dans l'*Examen de la soye des Araignées* qu'ils étoient aussi beaucoup plus foibles, car ceux là soutenoient deux gros & demi. Puisque ces fils portoient du moins un gros, & que les plus forts, dont je trouvois même un plus grand nombre que les plus foibles, portoient un gros & demi, il est clair que je ne feray rien de trop favorable à la somme de la force des fils, lorsque je prendray un gros dix-huit grains, pour la force moyenne de chaque fil. Et selon cette supposition, la somme des forces des fils qui composoient ce brin de soye, étoit de 1040 gros; ou divisant cette somme par 128 pour la reduire en livres, la somme de la force des fils étoit de 8 livres deux onces. Or nous avons vû ci-dessus, que le brin de soye ne soutenoit, pour l'ordinaire, que 5 livres & rarement 5 & demie; sa force étoit donc considérablement moindre que celle de la somme des fils? Quand nous aurions pris la force des fils les plus foibles, qui étoit d'un gros, pour la véritable force de chaque fil; la somme des forces auroit été de 832 gros, c'est-à-dire, de 6 livres & demie: par conséquent plus grande que celle du brin de soye.

On peut donc sûrement conclure de toutes ces expériences, que la force d'une corde tortillée, est moindre que la somme des forces des fils qui la composent. Mais il n'est pas possible de déterminer en quelle proportion le tortillement la diminue, parce que cette diminution dépend d'un grand nombre d'irregularitez, chacune desquelles peut être combinée de plusieurs manieres différentes.

Ces expériences nous apprennent du moins, que lorsqu'on pourra employer, d'une maniere commode, plusieurs petites cordes, & qu'on les pourra tendre également; que ces petites cordes seront en état de produire un plus grand effet, ou de résister à un plus grand effort, que ne le seroit un cable composé de toutes ces petites cordes.

Enfin si nous ne pouvons décider quelle est la force d'un cable; nous pouvons décider entre quelles limites elle est renfermée, en cherchant quelle est la force de quel-

16 MEMOIRES DE L'ACADEMIE ROYALE
 qu'une des petites cordes qui le composent, & en examinant
 quel est le nombre de ces mêmes cordes; puisque nous avons
 vû que la force du cable est moindre que la somme des for-
 ces de toutes ces cordes.

O B S E R V A T I O N S

*De quelques Eclipses des Planetes & Etoiles fixes par
 la Lune, faites en divers lieux, comparées ensemble
 pour déterminer les différences des Meridiens.*

Par M. CASSINI le Fils.

24. Jany.
 1711.

LEs Observations des Eclipses des Etoiles par la Lune;
 faites en divers lieux, étant très-propres pour déter-
 miner les longitudes Geographiques de ces lieux, comme
 on l'a fait voir dans les *Memoires de l'Academie de l'année
 1705*; Nous avons crû devoir comparer plusieurs de celles
 qui ont été faites jusqu'à present, pour pouvoir en retirer cet
 avantage.

Parmi ces Observations il y en a plusieurs qui sont rap-
 portées dans les *Journaux des Sçavans*, dans les *Transactions
 Philosophiques de la Société Royale de Londres*, & dans les
Actes de Leipsik, dont on a extrait celles qui ont été faites
 en même temps en divers endroits.

*Observations de l'Eclipse des Pleiades par la Lune; faites
 à Paris & à Dantzik: Le 23 Aoust 1701.*

à 13^h 31' 23" A Paris, la loifante des Pleiades de la 3^e
 grandeur, appelée *Alcione* par Riccio-
 li, entre dans la partie claire de la Lune.
 15 0 0 A Dantzik, *Alcione* entre dans la partie clai-
 re de la Lune.
 16 6 55 A Dantzik, Emerfion de la partie Ob-
 scure.

Pour

Expériences pour connaître si la force des cordes surpasse la somme des forces des fils qui
composent ces mêmes cordes - M. DE RÉAUMUR
Académie royale des sciences - Année 1711

MÉCANIQUE, ZOOLOGIE
