Sciences à l'École

FONDATION CGENIAL

TOP SECRET

HELP PETER PARKER

Comment créer une toile d'araignée optimisée ?

LYCEE CHARLES JULLY, 57500, SAINT-AVOLD
Élèves : CONORT Delphine, DELABY Maël, DUCH Mailys, FOREST Frédérique, LAPINSKI Louane, et ZUMBIEHL Maeline
Professeurs référents : Mr MALGRAS Marc-Olivier, Mr SAIBI Tanguy

Ceci est un message de la CAASH[1].

Vous avez été choisi pour participer à la mission /HELP PETER PARKER 2.0/. Désormais, vous ne pouvez vous soustraire de vos obligations aux risques de vous faire poursuivre. Les documents que vous allez lire sont extrêmement confidentiels.

Après la lecture du rapport, celui-ci s'autodétruira.

Vous connaissez sûrement tous le célèbre Peter Parker qui n'est autre que Spider Man. Ses capacités surnaturelles nous font tous rêver. En effet, qui n'a jamais voulu grimper aux murs à l'aide d'une toile d'araignée ou encore se déplacer d'immeubles en immeubles. Cependant, il ne faut pas oublier que tout ceci est dû à la simple morsure d'une araignée.
Nous avons donc voulu en apprendre un peu plus sur ces petites créatures et en particulier sur les capacités de leur fil afin d'aider ce cher Peter Parker à les utiliser.

[1] Cellule d'Aide Aux Super-Héros

RÉSUMÉ

Les araignées sont des animaux fascinants dont nous avons déjà tous pu observer les œuvres. Ne vous êtes-vous jamais demandé comment ces si petits animaux pouvaient fabriquer des toiles de formes et de propriétés si complexes et comment leurs œuvres pouvaient survivre aux aléas du temps ? C'est ce que nous avons cherché à comprendre à travers ce projet afin d'aider un potentiel Spiderman à mieux utiliser son fil.

Imaginez que Peter Parker se réveille un matin et se trouve face à une possible impasse : son stock de soie d'araignée est vide ! Quel fil pourrait-il utiliser afin de remplacer cette précieuse substance ?

Nous avons procédé en plusieurs étapes afin de répondre à cette première requête. Nous nous sommes intéressés à la production de toile par l'araignée, aux propriétés de cette toile et à son tissage pour comprendre les propriétés physiques de la soie afin de mieux choisir le matériau que nous allions utiliser pour l'imiter.

Deuxième éventuel problème : Peter Parker est narcoleptique. Il va donc avoir besoin d'un signal sonore le réveillant si quelqu'un ou quelque chose tombait dans sa toile. Ainsi, afin de répondre à ce problème, nous avons réalisé deux types de toile en format réduit. Nous avons ensuite sélectionné un modèle et y avons ajouté un dispositif de détection performant.

Enfin, nous nous sommes concentrés sur les déplacements de Spiderman pour vérifier que le fils choisi lui permettait de passer d'un immeuble à un autre.

Espérons que ce travail de recherche aidera notre super héros !

SOMMAIRE

I. Synthèse de la soie d'araignée 3
A. Production de fil 3
B. La soie d'araignée, un fluide non-newtonien ?..... 3
C. La production du polymère 4
1) Définition..... 4
2) Les propriétés des polymères 4
3) Réalisation du fil de polypropylène 5
II. Mission 1 : Tests mécaniques 5
A. Déterminer le diamètre des fils 6
1) Phénomène de diffraction 6
2) Mesures à l'aide du microscope 8
B. Résistance à la rupture en traction..... 8
1) Mesures de la force nécessaire pour rompre les fils 8
2) Résultats..... 9
C. Élasticité.....11
III. Mission 2 : Détection des proies 14
A. Forme 14
B. Propriétés de la toile synthétique 14
1) Détection des proies 14
2) Vitesse de propagation du signal 15
3) Localisation des proies 16
IV. Mission 3 : Étude des trajets de Spiderman..... 17
A. Quelle trajectoire ?.....17
B. Mini Spiderman.....18

Conclusion, remerciements, Bibliographie 19

I. Synthèse de la soie d'araignée

Les araignées sont des animaux fascinants. Plus de 47 000 espèces ont été recensées en 2017 selon le *World spider Catalog*. L'araignée malgré sa petite taille n'est pas un insecte puisqu'elle possède 8 pattes, un corps en deux parties : l'abdomaine et le céphalothorax, et généralement 4 paires d'yeux qui ne lui sont pas d'une grande utilité puisque leur vision est très mauvaise. De plus, elle ne possède ni ailes ni antennes, contrairement aux insectes. Cependant elles possèdent des poils qui couvrent plusieurs fonctions, comme par exemple l'ouïe puisqu'ils captent les vibrations de l'air, ou encore le toucher lorsqu'ils détectent la présence d'insectes pris dans la toile.

Le schéma de l'anatomie de l'araignée présent en Annexe (Voir Annexe **1**), nous permet de visualiser plus en détail sa morphologie.

A. Production de fil

Tout d'abord, la soie est entièrement composée de protéines. Celle qui constitue majoritairement le fil d'araignée est appelée fibroïne (polymère qui appartient au même groupe de protéine que la kératine et le collagène). Elle est aussi composée d'une autre protéine, la séricine et enfin de matières grasses, d'eau et de minéraux.

Avant d'être solide, la soie d'araignée est liquide à l'intérieur du corps. En effet, on la retrouve dans son abdomen, dans des poches appelées glandes séricigènes *(voir schéma)*.

Durant son périple jusqu'à la sortie du corps de l'araignée, la soie alors constituée de 40% de polymère et de 60% d'eau va traverser divers états physiques. En effet, dans les glandes, elle est à l'état de cristal liquide.

Puis au cours de son parcours, la soie entre en contact avec des ions hydrogènes (H^+), sodium (Na^+) et potassium (K^+) qui ont pour but de la solidifier.

Enfin, au contact de l'air et grâce à la traction exercée par les pattes de l'araignée la soie se rigidifie entièrement.

D'après cette affirmation, nous pouvons donc nous demander si la soie d'araignée est vraiment un liquide non-newtonien puisqu'elle possède des propriétés de fluide rhéoépaississant.

Un schéma de la fabrication du fil de soie par l'araignée est proposé en Annexe (Voir Annexe **2**)

B. La soie d'araignée, un fluide non-newtonien ?

Un fluide newtonien est un fluide pour qui les contraintes qu'il subit sont proportionnelles à la vitesse de déplacement.

À l'inverse, les fluides non newtoniens sont des fluides complexes.
Leur viscosité est dépendante de la force appliquée donc leur comportement n'est pas prévisible.
La viscosité exprime le degré de résistance d'un fluide aux forces qui lui sont appliquées. Cela s'applique à la difficulté de s'écouler ou de s'étaler (de se cisailler). La vitesse de cisaillement représente la tendance d'un fluide à s'écouler en fonction de la contrainte.

Lorsque nous parlons de fluide non newtonien, il est commun que nous pensions directement au mélange très connu de la maïzena et de l'eau.

Il nous fallait donc avant tout étudier de ce mélange. Nous en avons conclu que : plus la force exercée sur ce solide était importante, plus le liquide s'épaississait. Il s'agit donc d'un fluide rhéoépaississant

Cependant, lors du tissage du fil de soie chez l'araignée, on observera alors des fibres insolubles d'environ 0,05 µm de diamètre qui s'entrelacent ensuite pour constituer le fil de soie dont le diamètre final varie de 25 à 70 µm.
Ces fibres sont constituées du mélange d'un composant cristallin qui rend la structure de la soie solide et d'un composant amorphe qui donne l'élasticité à la soie.
On conclut donc que à l'inverse de la maïzena qui reste toujours à l'état visqueux, la soie d'araignée sort du corps de l'araignée à l'état solide, elle n'est donc pas.

C. Production du polymère

Nous souhaitions réaliser un fil se rapprochant au maximum de l'apparence de la soie d'araignée afin de pouvoir accomplir des expériences avec celui-ci. Nous avons donc choisi comme matériau un polymère, dû à sa production facile et rapide. Ainsi, nous nous sommes rendus à l'école d'ingénieur EEIGM de Nancy possédant tout le matériel requis afin de produire le fil de polymère.

1) Définition

Le terme polymère désigne une molécule de masse moléculaire élevée, généralement organique ou semi-organique. Cette *macromolécule*[2] est constituée d'un enchaînement d'un grand nombre d'unités de répétition, d'un ou de plusieurs *monomères*[3], unies les unes aux autres par des liaisons covalentes.

On les utilise généralement pour la fabrication d'objets usuels, électroménagers mais aussi en tant que matériaux de construction ou dans les domaines de la santé, esthétique….

Il existe deux types de polymères, les polymères d'origine naturelle (caoutchouc, laine) et les polymères synthétiques (matières plastiques).

D'un point de vue pratique, nous avons choisi de produire un polymère synthétique et plus particulièrement le polypropylène qui est l'un des polymères les plus polyvalent.

2) Les propriétés des polymères

Les différences de propriétés résultent de la différence de structure des polymères et des interactions ou véritables liaisons entre les chaînes.

- **Polymère thermoplastique**
- **Polymère thermodurcissable**
- **Les élastomères**

Des schémas regroupant l'ensemble de ses propriétés de polymère peuvent être consultés en Annexe (Voir Annexe **3**).

Le polypropylène est caoutchouteux et fait donc un bon élastomère. C'est donc parfait pour essayer d'imiter la soie d'araignée.

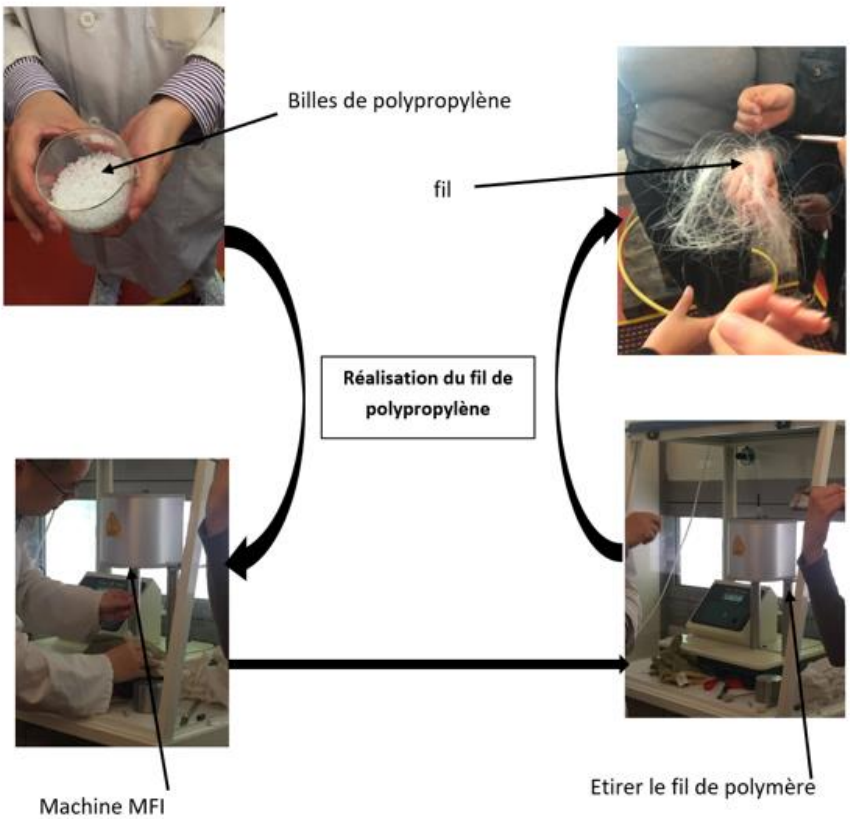
[2] Macromolécule : Très grosse molécule formée de groupements d'atomes répétés
[3] Monomère : Composé constitué de molécules simples à faible masse moléculaire

3) Réalisation du fil de polypropylène

Le polypropylène est fourni sous la forme de petites billes de 2mm de diamètre. Il nous a donc fallu le faire fondre afin de lui donner la forme adéquate.

Pour cela, nous avons utilisé une machine MFI (Melt Flow Index) ayant comme utilisation première de donner le taux de viscosité des polymères en les faisant fondre. Cette capacité nous a donc permis de faire fondre le polypropylène et ainsi l'étirer pour lui donner l'apparence d'un fil d'environ 0.10 mm de diamètre.

Voici un schéma du processus réalisé :



II. Mission 1 : Tests mécaniques

Tout d'abord, afin de mener à bien notre première mission, nous devions effectuer plusieurs tests mécaniques sur différents fils afin de sélectionner celui étant le plus approprié pour remplacer la soie d'araignée.

La soie d'araignée possède des propriétés physiques et mécaniques exceptionnelles.

En effet, elle est particulièrement résistante. Elle pourrait supporter une masse de 65kg et la toile d'araignée en elle-même peut résister à des masses de plus de 45 tonnes par cm^2. De plus, elle est incroyablement élastique, elle peut s'allonger de 31% sans se rompre tout en reprenant sa forme initiale.

En sachant cela, nous avons essayé de trouver un matériau aussi résistant et élastique que la soie d'araignée.

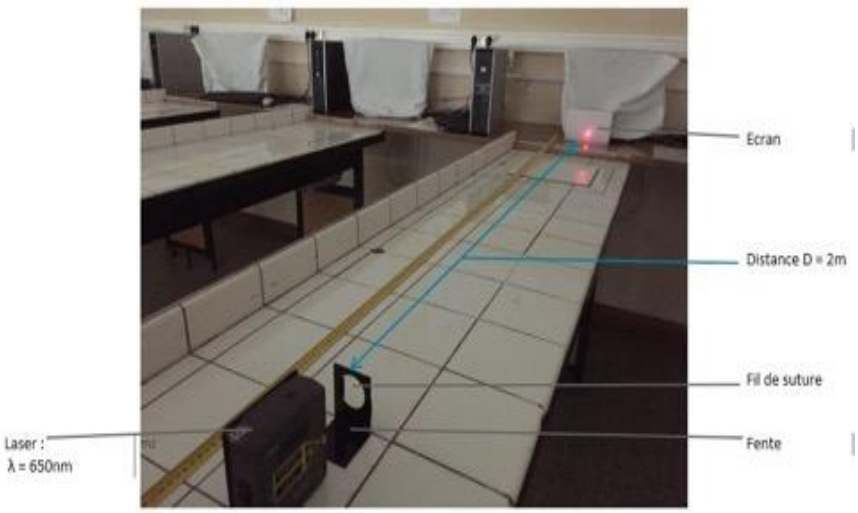
Il nous a semblé intéressant de sélectionner deux fils de pêches différents pour leur capacité à supporter des masses importantes tout comme la soie d'araignée. En outre, nous avons supposé que les propriétés physiques du fil de suture ainsi que le crin de cheval auraient des similitudes avec la soie. De même, la soie d'araignée est composée de 30 à 40% de polymères à l'état de cristallin liquide. Il est donc judicieux de comparer les propriétés physiques d'un fil de polymère avec cette dernière.

A. Déterminer le diamètre des fils

En prémices de toute expérience sur les échantillons de fil choisis, connaitre leur diamètre est indispensable pour tout calcul éventuel.

Les fils ayant un diamètre de l'ordre du mm, il est imprécis de mesurer cette grandeur à la règle. Or nous pouvons déterminer ces diamètres à l'aide de la diffraction ainsi que par microscope, cependant lors des expériences d'allongement nous n'avons établi nos expériences que sur les mesures faites Support n.

1) Phénomène de diffraction



La diffraction a lieu lorsque qu'une onde lumineuse monochromatique rencontre un obstacle ou une ouverture du même ordre de grandeur que la longueur d'onde de la source lumineuse : on obtient alors une figure de diffraction formée de taches lumineuses séparées de zones sombres.
Ce phénomène est d'autant plus visible que la largeur ***a*** de l'ouverture ou de l'obstacle est du même ordre de grandeur que la dimension du fil.

- **Analyse d'une figure de diffraction**

On admet que pour une lumière monochromatique de longueur d'onde λ, le demi angle de diffraction θ, exprimé en radian est donné par $\boldsymbol{\theta} = \frac{\boldsymbol{\lambda}}{\boldsymbol{a}}$.
Par ailleurs il est possible d'exprimer θ en fonction de la largueur L de la tâche centrale et de la distance D séparant la fente de l'écran.

<u>Selon les relations trigonométriques</u> :

$\tan(\theta) = \frac{\frac{L}{2}}{D}$ soit $\tan(\theta) = \frac{L}{2D}$

Or sachant que le demi-angle est un petit angle : $\tan(\theta) = \theta$

Donc $\boldsymbol{\theta} = \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{2D}}$

En faisant appel à la relation précédente on en conclut que :

$$\frac{\boldsymbol{\lambda}}{\boldsymbol{a}} = \frac{\boldsymbol{L}}{\boldsymbol{2D}}$$

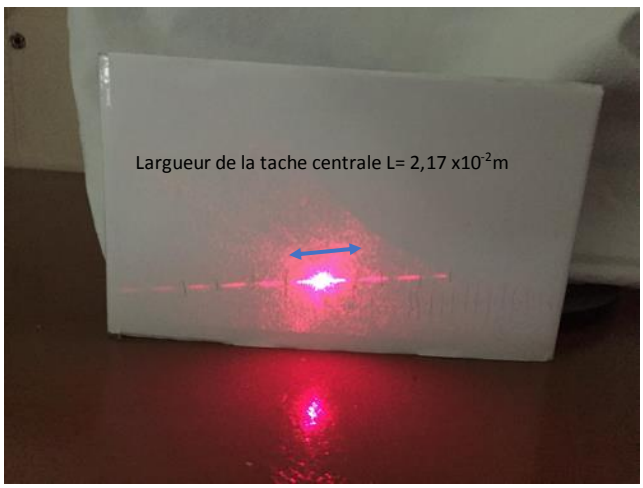
- **Mesure du diamètre du fil de pêche (cible gardon) par diffraction**

Lors d'une diffraction : $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$ (*toutes ces grandeurs s'expriment en mètre).*

On en déduit que : $a = \frac{\lambda \times 2D}{L}$

Par souci de précision, on a tout d'abord mesuré la totalité des taches puis on a divisé cette valeur par le nombre total de taches complètes (en respectant qu'une tache secondaire se répartie de part et d'autre de la tache centrale)

Voici la figure de diffraction observée pour le fil de pêche CB :



Ainsi $a = \frac{(650 \times 10^{-9}) \times 2 \times 2{,}00}{(2{,}17 \text{ x}10^{-2})} = 1{,}20 \times 10^{-4} m$

Le diamètre du fil de pêche CG est égal à $\boldsymbol{1{,}20 \times 10^{-4} m}$.

Nous avons par la suite reproduit ce dispositif pour tous les autres fils à notre disposition et les avons insérés dans un tableau que l'on retrouve en Annexe (Voir Annexe **4**).

Remarque : Le diamètre d'un fil de soie varie de 25 à 70 µm.

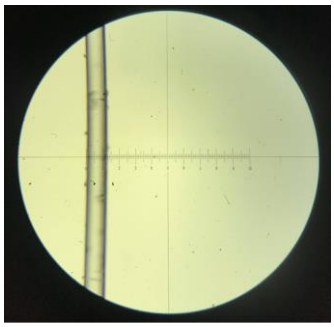
2) Mesures à l'aide du microscope

Afin de vérifier nos résultats nous avons pensé prendre des mesures à l'aide d'un microscope et d'un oculaire micrométrique (gradué d'unités arbitraires).

Pour ce faire, nous avons dans un premier temps étalonné notre microscope à l'aide d'une lame micrométrique pour savoir à quelle taille réelle correspond une unité arbitraire de l'oculaire. Puis nous avons observé notre fil de pêche (cible gardon) au microscope.

Par diffraction, nous avions obtenu une taille de $1,20 \times 10^{-4}$ +/- $0,06 \times 10^{-4}$ m.

Or avec cette nouvelle méthode, nous avons trouvé un diamètre de $1,2 \times 10^{-4}$m, ce qui correspond donc bien à nos mesures par diffraction.



Par ailleurs, nous n'avons pas pris d'autres mesures avec le microscope puisque c'est le fil de pêche qui nous intéressait le plus.

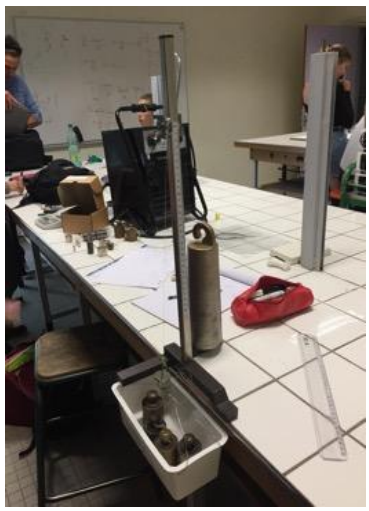
B. Résistance à la rupture en traction

Comme souligné précédemment, la soie d'araignée est très résistante. Elle peut subir des contraintes impressionnantes avant de se rompre.
En effet, il est possible d'exercer une tension importante sur le fil avant qu'il ne se casse. Actuellement, le fil de soie est un des matériaux avec la résistance à la rupture en traction la plus élevé : environ 1 000 MPa (MégaPascal). La résistance à la rupture en traction se calcule en mesurant la force nécessaire pour rompre un fil en la divisant par la section du fil. La grande résistance à la rupture en traction de la soie est l'une des raisons qui explique son exceptionnelle solidité.

1) Mesures de la force nécessaire pour rompre les fils

Dans un premier temps, afin d'évaluer la force en Newton appliqué sur nos fils, nous avons pensé à nous servir d'un dynamomètre. Cependant, notre protocole d'expérimentation était complètement imprécis. Finalement, se servir d'une potence nous a semblé être un meilleur moyen pour suspendre nos fils. Une fois le fil noué avec un nœud, nous rajoutions petit à petit des masses de l'autre côté du fil.

En se renseignant, les nœud utilisés pour la pêche sont suffisamment solides pour ne plus se défaire. De plus, ils permettent de faire une boucle ce qui était nettement plus efficace que de nouer le fil autour de la potence. En outre, avec l'aide de nos professeurs nous avons confectionné un support dans lequel nous pouvions déposer les masses. Ce dernier se constitue d'un bac en plastique troué de chaque côté pour y faire passer un fil en métal et y attacher un crochet. Le bac en lui-même pesait 0,092kg.



2) Résultats

Commenté [Office1]:

Lors de nos expériences, nous avons appliqué sur nos fils une contrainte. En effet, une tension due aux masses était exercée sur les différents fils.

Une contrainte causée par une tension s'obtient en divisant la force appliquée par la surface du fil :

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{m \times g}{A}}$$

m est la masse exprimée en **kg**

g est à l'intensité de la pesanteur exprimée **N.kg^{-1}**

A est l'aire de la section du fil (**en m^2**), $A = \pi . r^2$

Nous avons aussi calculé l'incertitude sur la contrainte :

$$U(\sigma) = \sigma \times \sqrt{(\frac{U(m)}{m})^2 + 2 \times (\frac{U(r)}{r})^2}$$

L'incertitude sur la masse est de $\pm 1 \times 10^{-5}$kg et **r** correspond au rayon du fil choisi.

Voici les résultats obtenus pour le fil de pêche (cible gardon) :

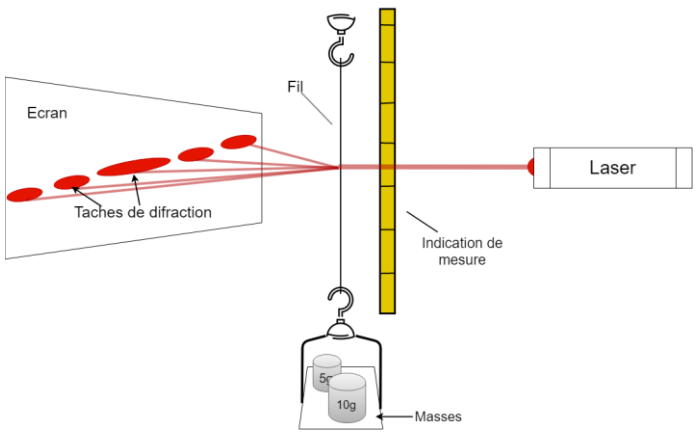
Masse (kg)	Longueur (m)	Poids (N)	Contrainte (N/m^2)	Incertitude contrainte
0	0,3	0	0	0
0,1	0,32	9,81E-01	8,68E+07	1,23E+07
0,12	0,321	1,18E+00	1,04E+08	1,47E+07
0,14	0,322	1,37E+00	1,22E+08	1,72E+07
0,19	0,325	1,86E+00	1,65E+08	2,33E+07
0,2	0,327	1,96E+00	1,74E+08	2,46E+07
0,24	0,329	2,35E+00	2,08E+08	2,95E+07
0,27	0,33	2,65E+00	2,34E+08	3,31E+07
0,28	0,332	2,75E+00	2,43E+08	3,44E+07
0,3	0,333	2,94E+00	2,60E+08	3,68E+07
0,32	0,334	3,14E+00	2,78E+08	3,93E+07
0,37	0,336	3,63E+00	3,21E+08	4,54E+07
0,38	0,337	3,73E+00	3,30E+08	4,67E+07
0,39	0,338	3,83E+00	3,39E+08	4,79E+07
0,4	0,339	3,92E+00	3,47E+08	4,91E+07
0,41	0,339	4,02E+00	3,56E+08	5,03E+07
0,46	0,339	4,51E+00	3,99E+08	5,65E+07
0,48	0,339	4,71E+00	4,17E+08	5,89E+07
0,49	0,339	4,81E+00	4,25E+08	6,02E+07
0,5	0,341	4,91E+00	4,34E+08	6,14E+07
0,7	0,354	6,87E+00	6,08E+08	8,59E+07
0,75	RUPTURE	7,36E+00	6,51E+08	9,21E+07

Nous avons par ailleurs réuni nos résultats dans différents tableurs que l'on retrouve en Annexe (Voir Annexe **5**).

Ainsi, nous avons pu trouver les fils résistant à une forte contrainte. Ce sont le fil de pêche cible gardon (résistant à une contrainte allant jusque $6{,}51 \times 10^8$ N/ m^2) et le fil de suture 4.0 (résistant à une contrainte allant jusque $3{,}81 \times 10^8$ N/m^2).

Par la suite, nous nous sommes interrogés sur l'évolution du diamètre en fonction de l'allongement du fil. En effet, étant donné que le fil s'allonge, il est normal de se demander si son diamètre ne diminue pas. Ainsi, nous avons à nouveau utilisé la diffraction afin de mettre en évidence notre hypothèse (si la taille des tâches observées sur l'écran augmente, le diamètre du fil diminue).

Voici un schéma du montage réalisé :



Ainsi, nous avons réunis nos résultats dans le tableur ci-dessous :

	mesure du diamètre						mesure de l'allongement			
masse (kg)	2D (m)	longueur d'onde (m)	L largeur de la figure (m)	ΔI	l (m)	a (diamètre du fil)	longueur du fil (m)	contrainte	allongement (m)	allongement relatif (%)
0,00E+00	4	6,50E-07	1,20E-01	6	2,00E-02	1,30E-04	2,60E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2,00E-01	4	6,50E-07	1,02E-01	5	2,04E-02	1,27E-04	2,86E-01	1,55E+08	2,60E-02	1,00E+01
3,00E-01	4	6,50E-07	1,07E-01	5	2,14E-02	1,21E-04	2,89E-01	2,56E+08	2,90E-02	1,12E+01
4,00E-01	4	6,50E-07	1,09E-01	5	2,18E-02	1,19E-04	2,91E-01	3,53E+08	3,10E-02	1,19E+01
5,00E-01	4	6,50E-07	1,10E-01	5	2,20E-02	1,18E-04	2,93E-01	4,49E+08	3,30E-02	1,27E+01
6,00E-01	4	6,50E-07	1,11E-01	5	2,22E-02	1,17E-04	2,97E-01	5,48E+08	3,70E-02	1,42E+01
6,50E-01	4	6,50E-07	1,13E-01	5	2,26E-02	1,15E-04	2,98E-01	6,14E+08	3,80E-02	1,46E+01

On remarque donc que plus la masse appliquée est importante, plus l'allongement est important et plus le diamètre du fil diminue.

Or nous avons donc remarqué que le diamètre du fil varie, cependant dans notre précédente expérience, nous n'avions pas tenus compte de ce facteur c'est pour cela que nos contraintes relevées diffèrent.

Cependant, cela ne change rien à notre déduction finale, puisque le fil de pêche CG reste le fil résistant à la plus forte contrainte.

Rappelons que la mission était de trouver un fil qui soit à la fois résistant et élastique. Nous avons montré précédemment que le fil de pêche CG avait une bonne résistance mais est-il pour autant élastique ?

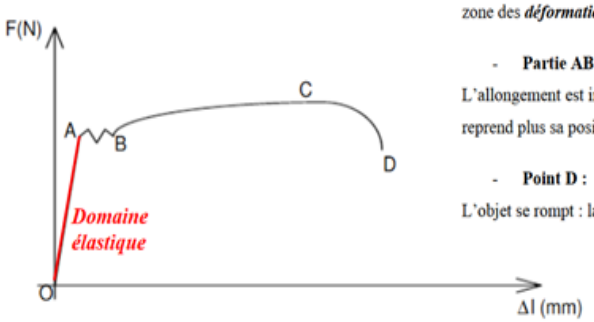
C. Élasticité

Lors des tests sur la résistance aux masses et aux différentes contraintes que l'on peut exercer sur nos fils, nous avons pu remarquer que ces derniers s'étiraient en fonction de la masse appliquée.

Selon l'importance des contraintes appliquées aux fils, les déformations ou allongements qu'ils subissent sont différentes. Elles peuvent être élastiques, plastiques ou peuvent conduire à la rupture. Lorsqu'un matériau adopte un comportement élastique, cela signifie qu'importe la contrainte qu'on va lui appliquer, il pourra reprendre sa forme initiale. Tandis qu'à partir du moment où le fil adopte un comportement plastique il ne pourra en aucun cas reprendre sa forme initiale.

On peut alors caractériser l'élasticité des fils suivant ces différents stades de déformation.

Le diagramme de traction présente deux zones :



- **Partie OA :**

L'allongement est faible et proportionnel à la contrainte. Si la sollicitation cesse, l'objet reprend sa forme initiale. Cette zone est la zone des ***déformations élastiques***.

- **Partie ABCD :**

L'allongement est important. Si l'effort est supprimé l'objet ne reprend plus sa position initiale.

- **Point D :**

L'objet se rompt : la charge de rupture a été atteinte.

Ainsi, nous avons tracé les courbes de de la déformation de chaque fil (contrainte en fonction de l'allongement relatif) afin d'étudier leur domaine élastique.

Plus le domaine élastique est large plus le fil est élastique et plus on peut y appliquer une contrainte importante. Grâce à nos courbes nous avons pu faire le lien avec le Module de Young.

- **Module de Young**

Le module de Young est une constante élastique qui lie la contrainte à la déformation. On l'exprime en MPa. Un matériau ayant un module d'élasticité élevé subira une déformation plus faible qu'un matériau ayant un module d'élasticité faible.

Pour déterminer le module de Young, on peut réaliser un essai de traction et tracer la courbe représentant la déformation en fonction de sa contrainte. La pente de la partie linéaire correspondra au module d'élasticité du matériau.

On s'intéressera plus particulièrement aux domaines élastiques de la soie et des fils sélectionnés lié à la loi de Hooke

- **Loi de HOOKE**

La loi de Hooke permet de relier la déformation d'un matériau à la contrainte exercée sur ce dernier par l'intermédiaire du module de Young :

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{\sigma}{E}}$$

avec ε qui correspond à l'allongement, σ associé à la contrainte et E qui coïncide au module de Young

Lorsque le fil adopte un comportement élastique, son allongement relatif observé est réversible : le fil peut reprendre sa taille initiale. Ce comportement se traduit par une ligne droite sur la courbe : l'allongement est proportionnel à la contrainte.

Lors des expériences précédentes, nous utilisions un mètre pour mesurer l'allongement relatif aussitôt après l'ajout d'une masse.
Ensuite, nous avons calculé l'allongement relatif : $\boldsymbol{\Delta l = \frac{l - l0}{l0} \times 100}$, exprimé en %. l0 correspondant à la longueur initiale du fil, l correspondant à longueur du fil pour chaque situation étudiée.
Par la suite, nous avons déterminé l'incertitude de l'allongement relatif pour chacun des fils :

$$U\Delta l = \Delta l \times \sqrt{\left(\frac{U(l - l_0)}{l - l_0}\right)^2 + \left(\frac{U(l_0)}{l0}\right)^2}$$

L'incertitude sur les longueurs est de $\pm 0{,}82 \times 10^{-3}$m. En effet lors de la mesure on effectue une double lecture avec un intervalle de 95% de confiance ainsi :

$$U(l_0) = \frac{1}{\sqrt{12}} \times \sqrt{2} \times 2 = 0{,}82mm$$

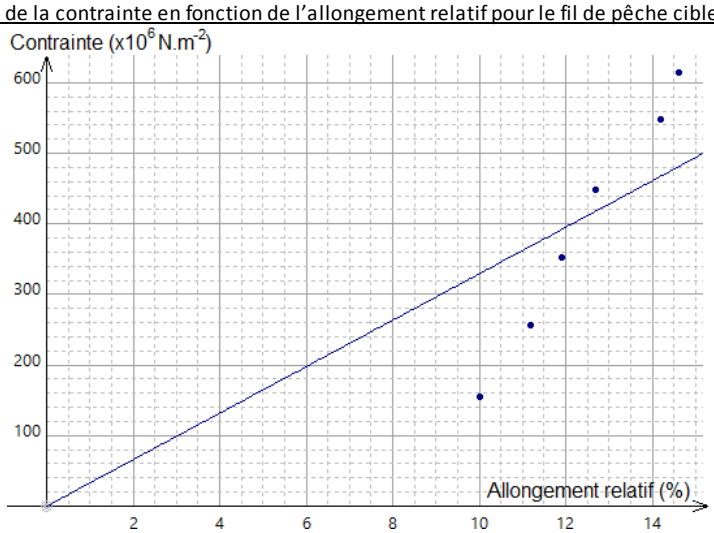
Nous avons réuni nos résultats dans différents tableurs situés en Annexe (Voir Annexe **6**).

Résultats pour fil de pêche (cible gardon)

Masse (kg)	Longueur (m)	Allongmement relatif (%)	Incertitude allongement relatif
0	0,3	0	0
0,1	0,32	6,67E+00	2,74E-01
0,12	0,321	7,00E+00	2,74E-01
0,14	0,322	7,33E+00	2,74E-01
0,19	0,325	8,33E+00	2,74E-01
0,2	0,327	9,00E+00	2,74E-01
0,24	0,329	9,67E+00	2,74E-01
0,27	0,33	1,00E+01	2,74E-01
0,28	0,332	1,07E+01	2,75E-01
0,3	0,333	1,10E+01	2,75E-01
0,32	0,334	1,13E+01	2,75E-01
0,37	0,336	1,20E+01	2,75E-01
0,38	0,337	1,23E+01	2,75E-01
0,39	0,338	1,27E+01	2,75E-01
0,4	0,339	1,30E+01	2,75E-01
0,41	0,339	1,30E+01	2,75E-01
0,46	0,339	1,30E+01	2,75E-01
0,48	0,339	1,30E+01	2,75E-01
0,49	0,339	1,30E+01	2,75E-01
0,5	0,341	1,37E+01	2,75E-01
0,7	0,354	1,80E+01	2,77E-01
0,75	RUPTURE		

Observations : Nous pouvons donc remarquer après les tests que certains fils s'étirent plus facilement que d'autres comme le fil de polymère (ayant un allongement relatif de 250% avant rupture). Cependant notre fil de polypropylène n'était pas assez résistant nous avons donc poursuivi nos études pour trouver le fil se rapprochant au maximum des capacités de la soie d'araignée.
Il nous fallait donc étudier le domaine élastique pour avoir plus de précisions. Grâce aux différentes données, nous avons pu reproduire les courbes du domaines élastiques des différents fils testés. Ces courbes peuvent être consultées en Annexe (voir annexe **7**). Nous avons utilisé le logiciel Regressi.

Courbe de la contrainte en fonction de l'allongement relatif pour le fil de pêche cible gardon



Ainsi la courbe du domaine élastique du fil de pêche cible gardon était beaucoup plus intéressante que celles des autres fils. Le fil de pêche cible gardon s'est donc révélé être un matériau résistant et élastique. Nous avons donc choisi de continuer nos études sur ce fil.

Peter Parker n'a plus de soucis à se faire, nous avons trouvé le fil pouvant remplacer la soie d'araignée : le cible gardon.

III. Mission 2 : Détection de proies

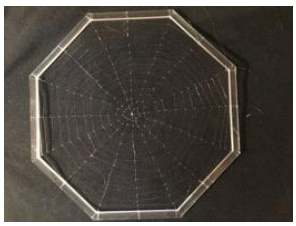
Selon nos informations Spiderman a été diagnostiqué narcoleptique. De ce fait il aura besoin d'un signal sonore le réveillant si quelqu'un ou quelque chose tombait dans sa toile.

A. Forme

Afin de résoudre le problème de notre super héros, nous avons réalisé deux types de toile en format en réduit. Une toile à forme asymétrique et une toile à forme symétrique. Cependant la toile à forme asymétrique n'était pas intéressante à étudier donc nous nous sommes plutôt penchés sur le modèle de la toile symétrique pour nos études.

Nous avons tissé une toile géométrique sur un cadre octogonal de côté 75mm en plastique. Notre toile était alors dotée d'un cadre, d'un rayon et d'un moyeu. Chacun des fils est relié les uns entre les autres grâce à des nœuds.

La toile ainsi tissée servira de support pour le système de détection des proies.



B. Propriétés de la toile synthétique

1) Détection des proies

L'araignée détecte ses proies sur la toile grâce aux vibrations qu'elle capte sur ses pattes. Ainsi nous avons réalisé une expérience pour prouver qu'il est possible de détecter une proie grâce à une vibration. Cela consiste en l'utilisation d'un *capteur piezo électrique*[4] placé entre les fils de la toile, ce qui représente les pattes de l'araignée ou les membres de Peter. Ce capteur est ensuite relié à un oscilloscope pour observer les vibrations et leurs intensités.

La conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique se fait ici au travers d'un capteur piézo-électrique. Celui-ci est composé d'une membrane et de deux fils qui sont reliés à un cristal piézoélectrique. C'est ce dernier qui opère la transformation. Ces cristaux ont pour propriété de générer une tension lorsqu'ils sont déformés. Dans notre expérience, l'insecte va transmettre son énergie cinétique en énergie élastique

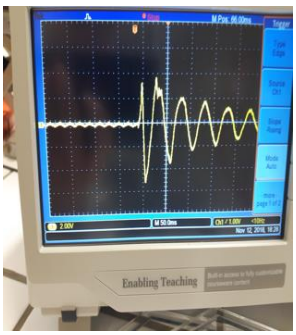
[4] Un capteur piezo électrique, est un dispositif permettant de mesurer les changements de force, et de vibration en les convertissant en charges électriques.

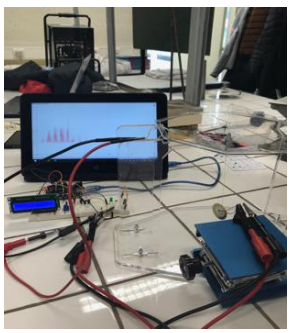
en déformant la toile. Cette déformation va entrainer un mouvement de la membrane du capteur et donc un étirement ou une compression du cristal, et donc une tension aux bornes du capteur.

Lors de nos différents tests nous avons utilisé différentes masses (5g, 1g et 360mg). Nous avons observé une corrélation entre la masse déposée sur la toile et la tension du signal observé : de 0.5 V pour la masse de 360mg à 4,5V pour celle de 5g. (image ci-après)
Nous avons ensuite ajouté un fil vertical attaché au moyeu de la toile
Un autre test consistant à suspendre un capteur au bout d'un fil, fixé au centre de la toile, nous a permis d'augmenter la capacité de la détection, et de donner une assurance sur la justesse et réduire les fausses alertes en comparant les deux signaux.

Pourquoi alors ne pas équiper les toiles de capteurs ?

Nous décidons de placer des capteurs sur la toile et sur le fil vertical présenté précédemment. Ces capteurs sont eux-mêmes reliés à un microcontrôleur qui va afficher la présence d'insectes sur la toile. (Ci-dessous)
Ce système permettra à Peter d'être informé de la nature de l'insecte ou de l'ennemi présent sur sa toile. Il lui suffira d'être attentif aux signaux sonores et à son écran. (Voir Annexe **8**)



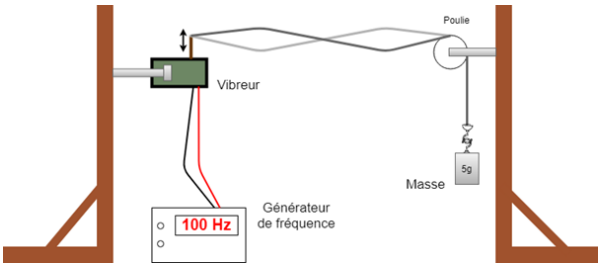


Cependant, revenons-en à notre problème : la narcolepsie de Peter Parker. Nous avons donc ajouté un signal sonore lorsque des mouvements sont détectés sur la toile afin qu'il puisse être réveillé s'il s'endort. De ce fait, il sera prévenu en cas d'intrusion sur sa toile

2) Vitesse de propagation du signal

Toutefois, il serait dommage que Spider Man soit réveillé trop tard et qu'un potentielle danger ait fait des dégâts. Pour éviter cette éventualité, nous avons déterminer la vitesse de propagation d'une onde dans le fil de pêche cible gardon.

Pour se faire, nous avons utilisé le principe de la corde de Melde.
Le fil (cible gardon) est alors tendu entre deux points et soumis à une vibration régulée par un générateur de fréquence. De ce fait deux ondes de même fréquence et de même amplitude se propageant en sens contraire donnent, en se superposant, une onde stationnaire.



Par ce principe, on a pu observer deux fuseaux, correspondant chacun à une demi-longueur d'onde, des « nœuds », coïncidant avec des points fixes et des « ventres » d'élongation qui concordent avec les points d'amplitude maximum.

Nous avons remarqué lors de nos observations que plus la masse et par conséquent la tension est importante, plus la vitesse est rapide.

De ce fait la vitesse de propagation (c) dépend de la tension de la corde T et de sa masse linéique μ : $c=\sqrt{\frac{T}{\mu}}$

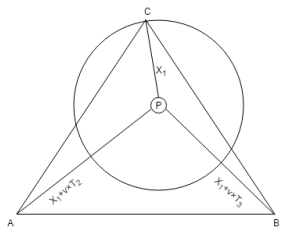
Par la suite nous avons réalisé une courbe de fonction f représentant la vitesse de propagation en fonction de la tension.

Ainsi $f(x) = \frac{\sqrt{\frac{x}{14,4.10^{-6}}}}{100}$. La masse correspond à l'inconnu x et la masse linéique μ est dans ce cas égal à $14,4\times 10^{-6}$. On divise le tout par 100 pour obtenir un résultat en centi Newton. 9. Un graphique représentant la vitesse de propagation d'une perturbation en fonction de la tension dans le fil Cible gardon est présent en Annexe (Voir Annexe **9**).

3) Localisation des proies

Pour traiter les signaux émis par les capteurs, nous avons décidé d'utiliser un microcontrôleur Arduino afin de convertir les signaux analogiques en valeurs digitales, ainsi que d'envoyer les données à un ordinateur via Bluetooth (à faire) qui va les traiter.

La position des capteurs permet de créer ce modèle mathématique :

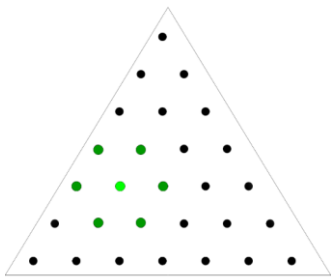
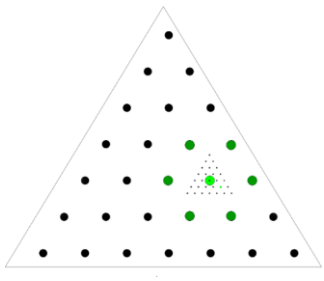


χ1 est le rayon du cercle. Nous ne pouvons le mesurer car nous n'avons pas la différence de temps ΔT entre le moment où la toile est touchée et le moment où le capteur mesure la perturbation. Cependant nous pouvons mesurer le temps entre le moment où le premier et le deuxième capteur est touché : T2. Grace à ces données, et en connaissant la taille des côtés du triangle, il est possible de trouver la position du point.

Pour résoudre ce problème, nous avons utilisé une application que nous avons créé en Python. Celle-ci va placer P à beaucoup d'endroit dans le triangle et retrouver la position la plus probable de la proie selon les mesures obtenues précédemment. Le programme actuel test 50.000 positions dans le triangle en 8 secondes.

Nous avons ensuite créé une méthode plus efficace. Dans celle-ci, la première partie du programme fonctionne de manière similaire, mais en testant uniquement 1000 points. La position la plus probable est

alors calculé, puis, le programme recommence ses calculs dans un triangle plus petit autour du point le plus probable, puis sauvegarde le nouveau point plus probable, qui aura donc une précision accrue, et recommence cette opération autant de fois que voulu. Une précision de l'ordre du centimètre est atteinte avec seulement 2000 calculs, soit 8 centièmes de seconde.

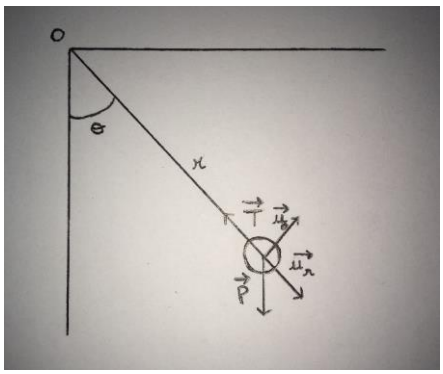
SOLUTION 1	SOLUTION 2
	

IV. Mission 3 : Étude des trajets de Spiderman

Nos agents ont remarqué qu'à ses débuts, Spiderman ne maitrisait pas ses déplacements. Il a dû apprendre à lancer sa toile, à se lancer dans le vide et surtout à atterrir.

A. Quelle trajectoire ?

Nous allons maintenant établir les équations du mouvement pour déterminer la forme de la trajectoire de Spiderman lorsqu'il passe d'un immeuble à un autre.



$\vec{T}$: tension exercée par le fil sur Spiderman

$\vec{P}$: poids de Spiderman

D'après la seconde loi de Newton appliquée à Spiderman dans le référentiel terrestre (supposé galiléen), la somme vectorielle des forces appliquées à un système ponctuel est égale à la dérivée de la quantité de mouvement du système.

$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\times\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{v}\times m}{dt} = m \times \vec{a}$

Donc $\vec{P}+\vec{T} = m.\vec{a}$

On pose $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$ et θ l'angle entre l'axe vertical orienté vers le bas et $\vec{r}$

En coordonnées polaires, cela permet d'écrire : $\vec{a} = \overrightarrow{u_r}(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2) + \overrightarrow{u_\theta}(2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})$

Et $\vec{P}\begin{cases} P_r = P \times cos\theta \\ P_\theta = -P \times sin\theta \end{cases}$ et $\vec{T}\begin{cases} T_r = -T \\ T_\theta = 0 \end{cases}$

Projection sur $\overrightarrow{u_r}$: $m\left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right) = P_r + T_r = P \times cos\theta - T$

Projection sur $\overrightarrow{u_\theta}$: $m\left(2\dot{r}\dot{\theta} - r\dot{\theta}\right) = P_\theta + T_\theta = -P \times sin\theta$

Or r est constant (fil inextensible) donc $\dot{r} = \ddot{r} = 0$

Ainsi on obtient : * selon $\overrightarrow{u_r}$: $mr\dot{\theta}^2 = Pcos\theta - T$

* selon $\overrightarrow{u_\theta}$: $mr\ddot{\theta} = -Psin\theta$

Selon $\overrightarrow{u_\theta}$: $\ddot{\theta} = \frac{-g}{r}\sin\theta$

On pose $\frac{g}{r} = {\omega_0}^2$

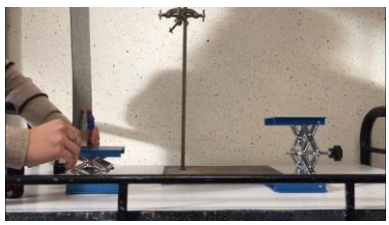
<u>Solutions</u> : $\theta = \theta_0 \cos(\omega_0 t)$ (admise car approximation des faibles amplitudes)

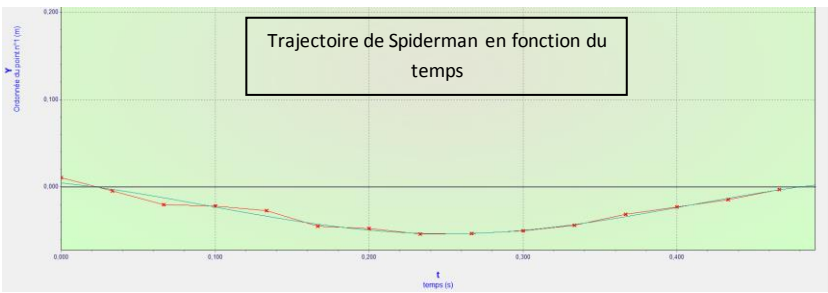
Nous avons choisi de travailler en utilisant l'approximation des faibles amplitudes (θpetit), la trajectoire serait sinusoïdale.

Nous choisissons de réaliser un modèle réduit de ce déplacement puis de l'étudier afin de valider notre hypothèse de départ.

B. Mini Spiderman

Nous avons dans un premier temps étudié le premier déplacement de Spiderman à l'aide de sa toile d'araignée. Celui-ci se déplaçait d'un immeuble haut vers un immeuble plus bas. Nous avons ainsi reproduit la scène en utilisant le fil de pêche.





On remarque donc que la trajectoire forme une sinusoïde, ce qui valide notre hypothèse : le déplacement de Spiderman est un mouvement de faible amplitude.

Conclusion :

La soie d'araignée est un matériau ayant un potentiel extraordinaire mais qui reste hélas très peu exploitable pour le moment.
Nos études étaient majoritairement portées sur ses principales propriétés : son élasticité et sa résistance.
Nous avons été vite confrontés au problème du matériel peu précis du lycée mais aussi aux échecs d'expériences comme pour l'essai avec le dynamomètre. Or, ces échecs et ces contraintes nous aurons appris à nous rendre compte de la difficulté de la démarche scientifique.

Cependant ne perdons pas de vue que nous cherchions à aider Peter Parker. Nous avons suivi trois pistes de réflexion : la rupture de stock de soie d'araignée, la narcolepsie de notre super-héros ainsi que son déplacement. Après avoir étudié les propriétés de plusieurs fils, nous avons sélectionné le fil de pêche cible gardon qui était à la fois résistant et élastique. Nous savions très bien que ses propriétés n'étaient pas aussi bonnes que celles de la soie d'araignée mais dans le panel des fils à notre possession, elles étaient les meilleures. Ainsi, si Spiderman n'avait plus de soie d'araignée, il pourrait utiliser le fil de pêche cible gardon afin de la remplacer. Notre premier problème était résolu.
Ensuite, afin de remédier au manque d'attention de notre ami, nous avons choisi de tester la sensibilité de la toile à l'aide d'un capteur piézo-électrique. Spiderman n'a plus de soucis à se faire, son deuxième problème est résolu : un signal sonore le réveillera lorsque des vibrations seront ressenties sur la toile.
Enfin, après avoir étudié les déplacements de Peter Parker, nous avons confirmé le choix du fil de pêche comme matériau de remplacement lors de ses trajets.

Nous espérons avoir rendu la vie plus facile pour Spiderman avec ces études.
Cependant, il lui reste encore d'autres problèmes, tels que l'optimisation de ses trajets aériens. Nous espérons les résoudre prochainement !

Remerciements :

Nous souhaiterions remercier nos professeurs référents, monsieur Saibi et monsieur Malgras pour nous avoir apporté leur aide et leur soutien au cours de ce projet, monsieur Fovet, pour avoir pris de son temps afin de nous fabriquer les cadres de toiles mais aussi le support sur lequel nous avons pu les fixer, les techniciens des laboratoires de physique de notre lycée pour nous avoir prêté le matériel nécessaire à la réalisation de nos expériences. Nous souhaiterions également remercier l'enseignant chercheur Mr Guo-Hua Hu pour son accueil à l'école d'ingénieur EEIGM de Nancy et son aide apportée durant la conception de notre fil polymère. Et enfin nous remercions le jury pour l'attention portée à notre dossier.

Bibliographie :

Études sur les araignées et leur soie :
• http://sfeca.fr/SiteToile/IE5/Soie.pdf
•https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/technologie-biotechnologie-soie-araignees-fibre-tres-performante-121/
• http://tpebiomimetisme.e-monsite.com/pages/ii-la-toile-d-araignee.html

Étude sur la production de polymères :
•http://www.cndp.fr/portails-disciplinaires/fileadmin/user_upload/Physique-chimie/Ressources_RNSTL/Polymeres.pdf

Étude sur le domaine élastique ou le module de Young :
• http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap4/site/html/3.html
• https://wassimelias.files.wordpress.com/2017/02/chap-3.pdf