



# **Étude de l'élasticité et de la tension sur le cordage d'une raquette de tennis**

Valentine LENZOTTI - 27485

# Sommaire

- Introduction
- Influence du diamètre : Essais de traction
- Conséquences de la perte de rigidité
  - Variation de la tension
  - Usure naturelle du cordage
- Conclusion

## Problématique

Comment optimiser les performances de la raquette de tennis et ainsi aider le joueur, en se basant sur l'élasticité du cordage aussi bien avec le matériau qu'avec la tension appliquée ?

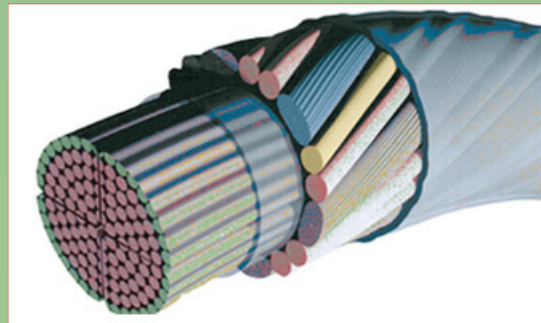


### Cordage monofilament



1 seul brin  
(famille des polyesters)

### Cordage multifilament

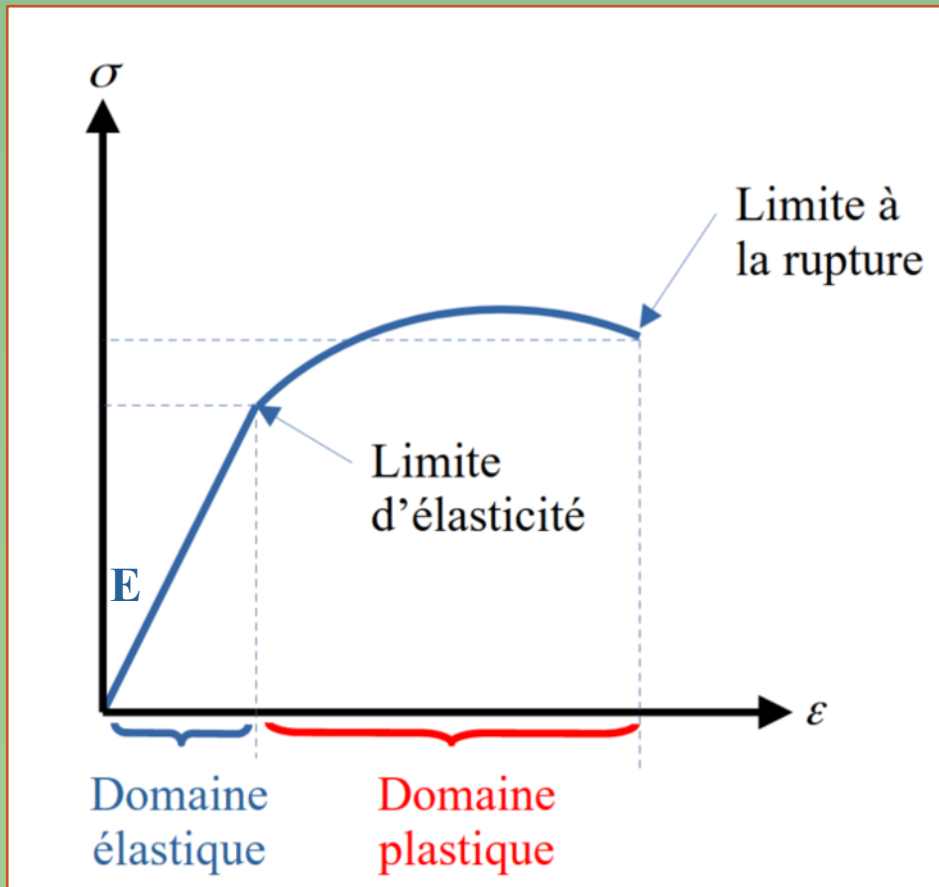


Plusieurs brins  
(Nombre et composition variables)

**Essais de traction**

échantillon

- Diamètres :  
1,25 et 1,30 mm
- Longueur :  
6,5 cm



$\rightrightarrows$  Young =  $\rightrightarrows$  rigidité

## Formules connues

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

- $\sigma$  : Contrainte
- $F$  : Force
- $S$  : Surface de la section
- $\epsilon$  : Déformation
- $\Delta L$  : Allongement
- $L_0$  : Longueur initiale de l'échantillon

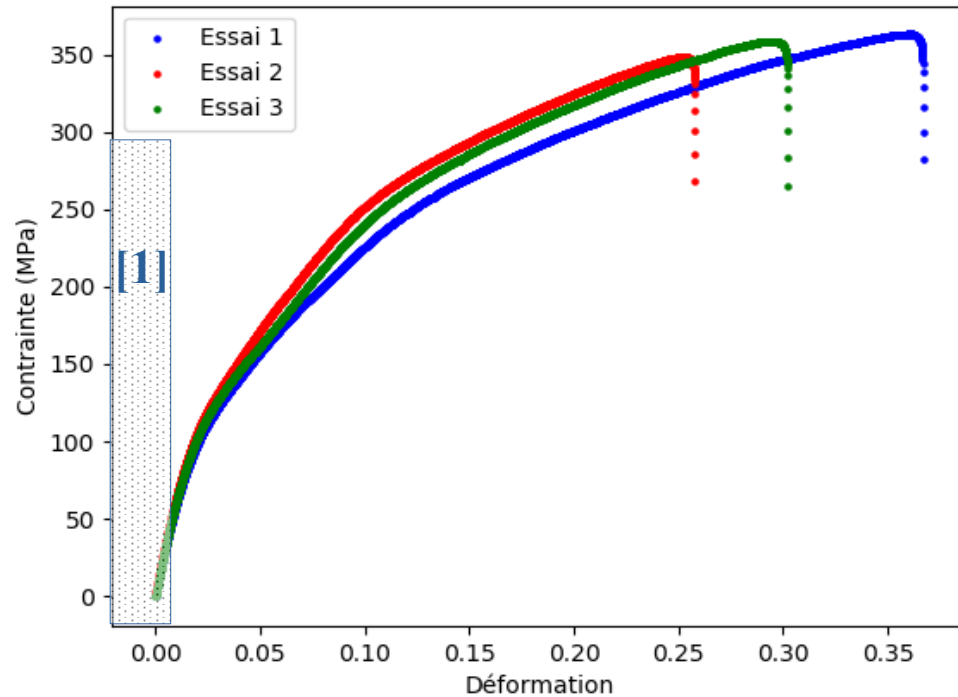
## Loi de Hooke

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

$E$  : Module d'Young

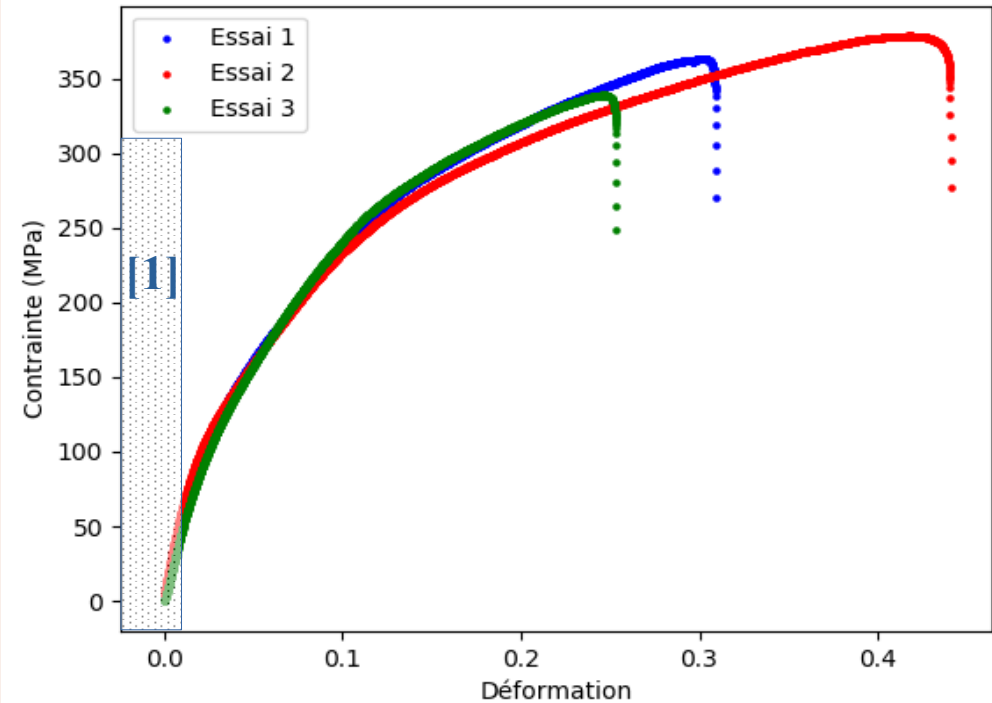
## Monofilament

Wilson Revolve 1,30mm



## Monofilament

Wilson Revolve 1,25mm



Diamètre du cordage (mm)	Domaine élastique [1]	Domaine plastique
	Module d'Young (MPa)	Force à la rupture (N)
1,30 [Mono]	6600	454
1,25 [Mono]	5810	409

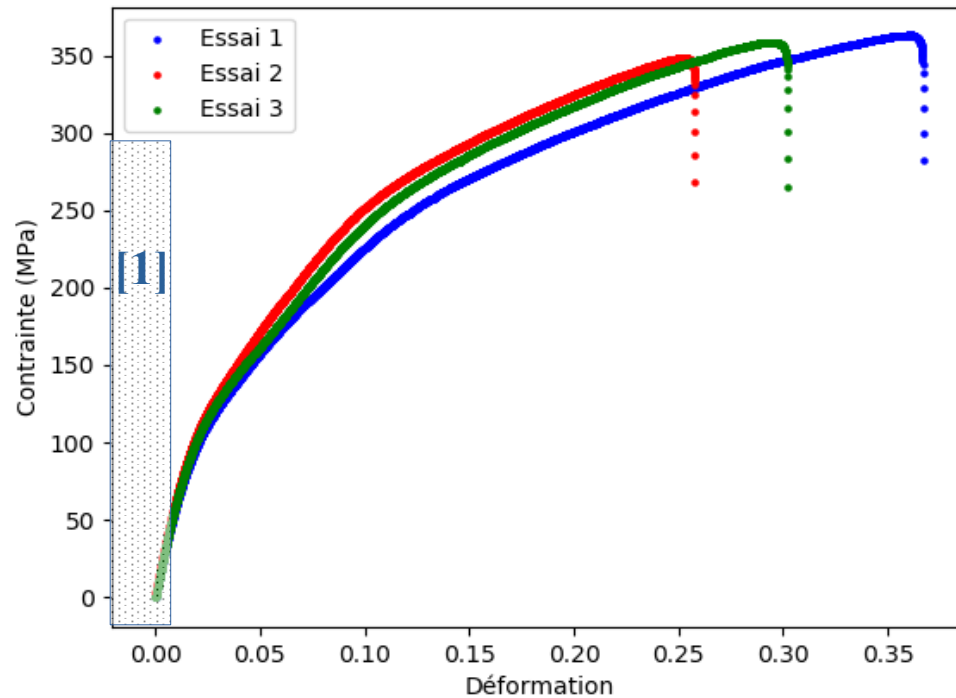


Cordage de faible diamètre :  
✓ moins rigide



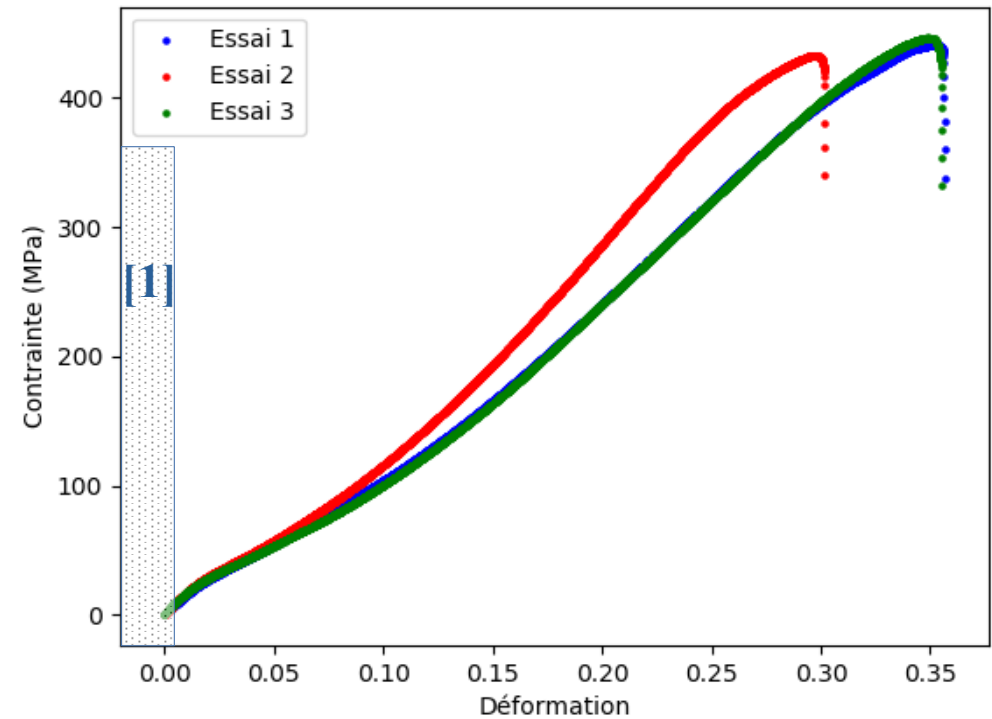
## Monofilament

Wilson Revolve 1,30mm



## Multifilament

Tecnifibre TGV 1,30mm



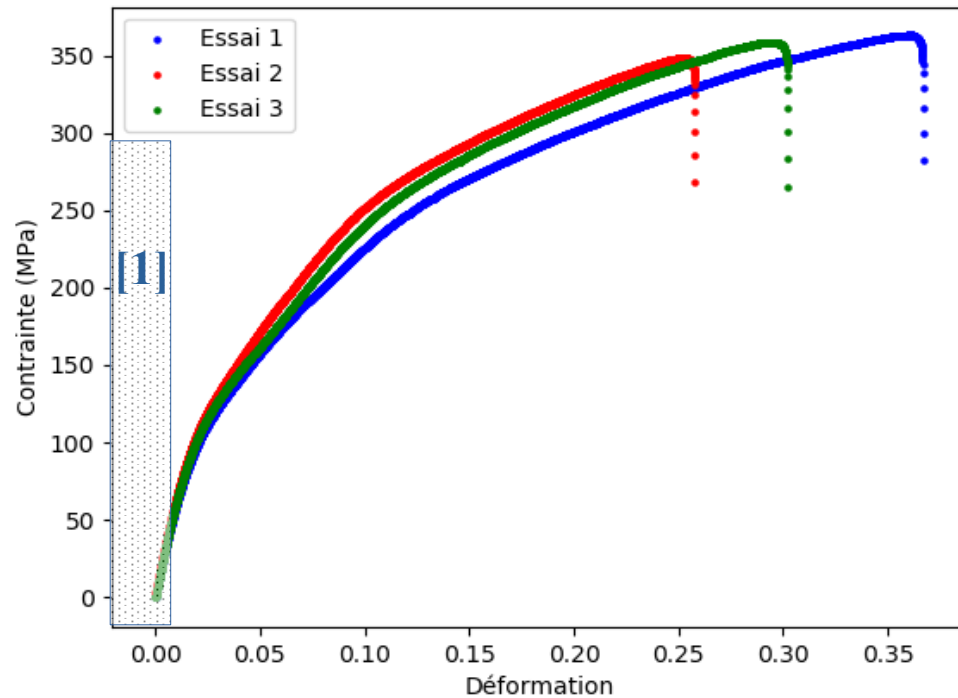
Diamètre du cordage (mm)	Domaine élastique [1]	Domaine plastique
	Module d'Young (MPa)	Force à la rupture (N)
1,30 [Mono]	6600	454
1,30 [Multi]	1700	561

Cordage multifilament :  
✓ moins rigide



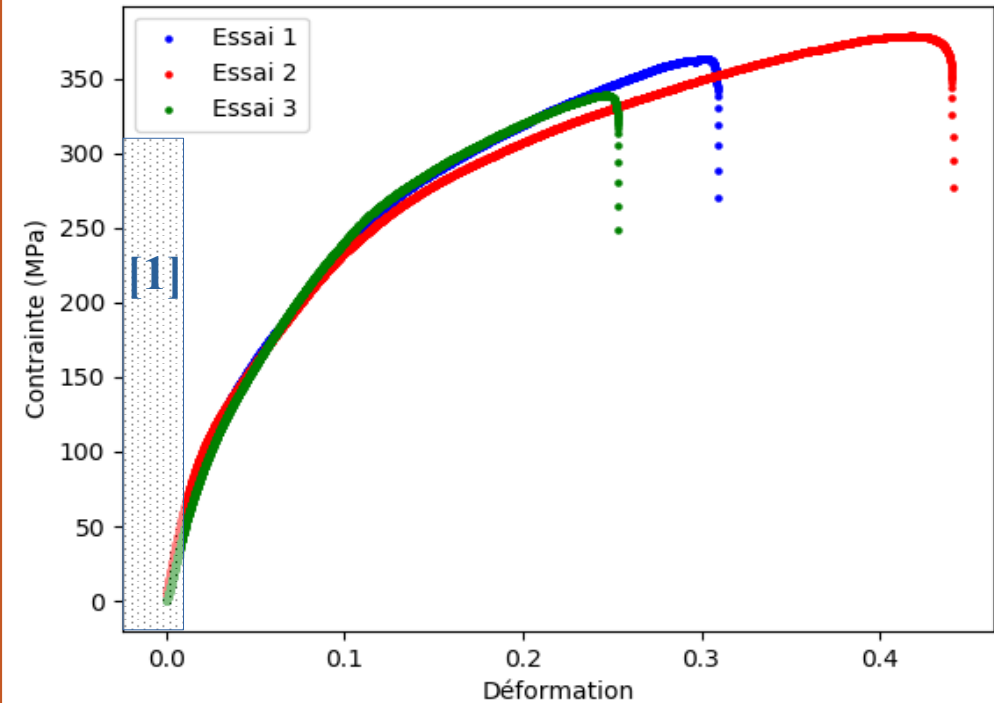
## Monofilament

Wilson Revolve 1,30mm



## Monofilament

Wilson Revolve 1,25mm

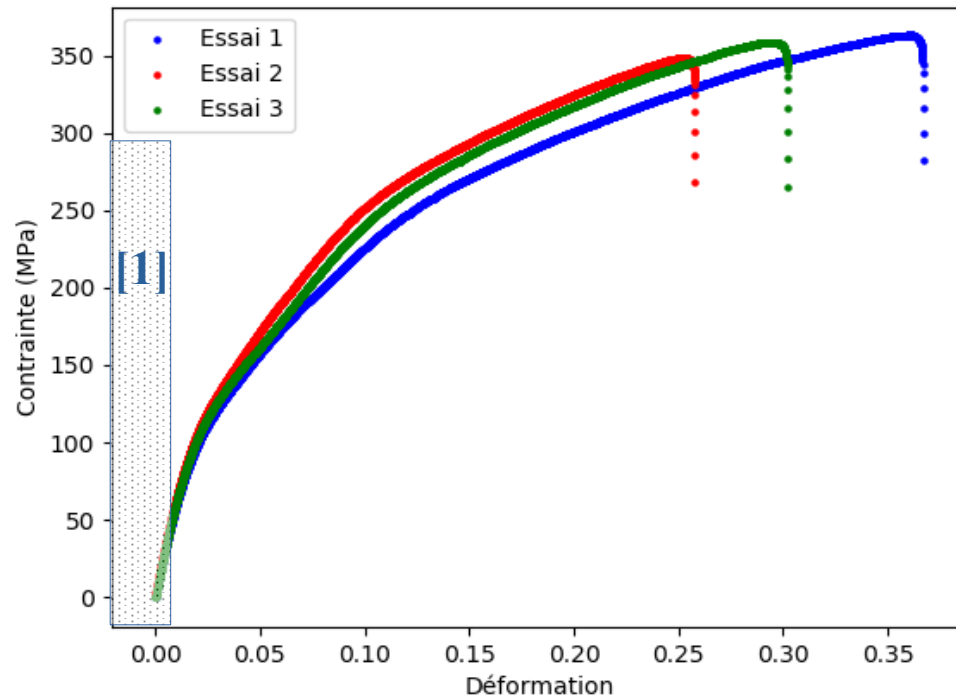


Diamètre du cordage (mm)	Domaine élastique [1]	Domaine plastique
	Module d'Young (MPa)	Force à la rupture (N)
1,30 [Mono]	6600	454
1,25 [Mono]	5810	409

Cordage de faible diamètre :  
 ✗ casse plus vite

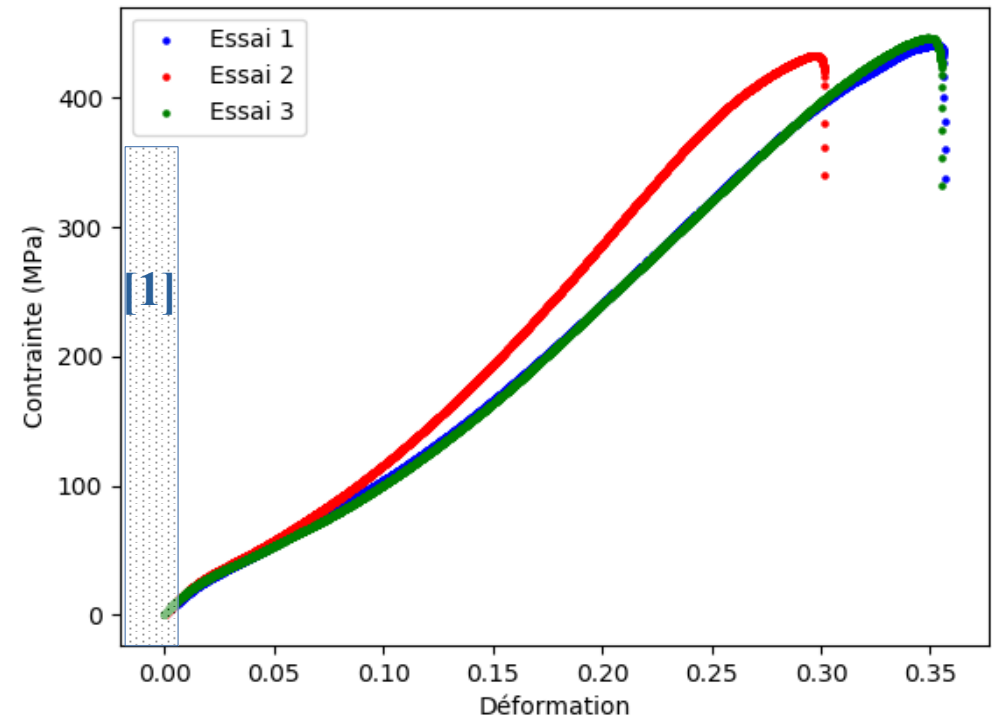
## Monofilament

Wilson Revolve 1,30mm



## Multifilament

Tecnifibre TGV 1,30mm



Diamètre du cordage (mm)	Domaine élastique [1]	Domaine plastique
	Module d'Young (MPa)	Force à la rupture (N)
1,30 [Mono]	6600	454
1,30 [Multi]	1700	561

Cordage monofilament :  
✓ financièrement plus intéressant

Intérêt de rendre un cordage moins rigide ?

## 1- Variation de la tension

## 2- Usure naturelle du cordage

Maquette « fait maison »



Tensions appliquées :  
indéterminées

Machine à corder électronique

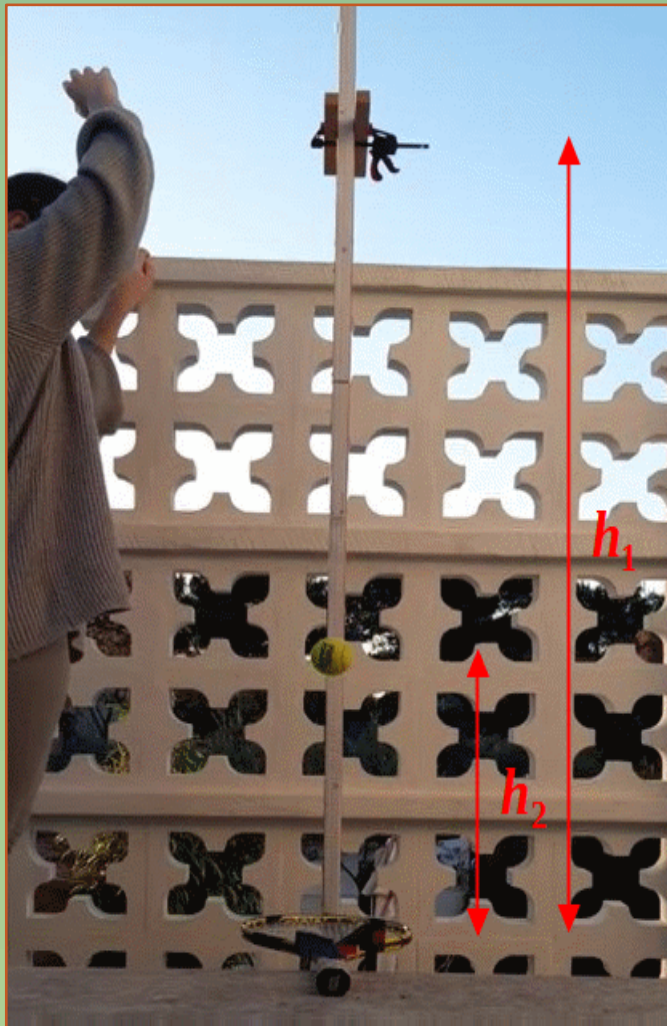


Tensions appliquées :  
20 kg et 30 kg

## 1- Variation de la tension

## 2- Usure naturelle du cordage

## Expérience « Lâcher de balle »



Tension	Hauteur du lâcher $h_1$ (m)	Hauteur du rebond $h_2$ (m)	Vitesse maximale après rebond $v$ (m/s)
20kg	$1,55 \pm 1,47 \cdot 10^{-3}$	$0,528 \pm 0,020$	$2,85 \pm 0,09$
30kg	$1,54 \pm 4,11 \cdot 10^{-3}$	$0,454 \pm 0,029$	$2,57 \pm 0,09$



Tension plus basse :

- ✗ augmentation des fautes
- ✓ augmentation de la vitesse
- ✓ augmentation de la puissance

Performances du cordage au cours du temps ?



## 1- Variation de la tension

## 2- Usure naturelle du cordage

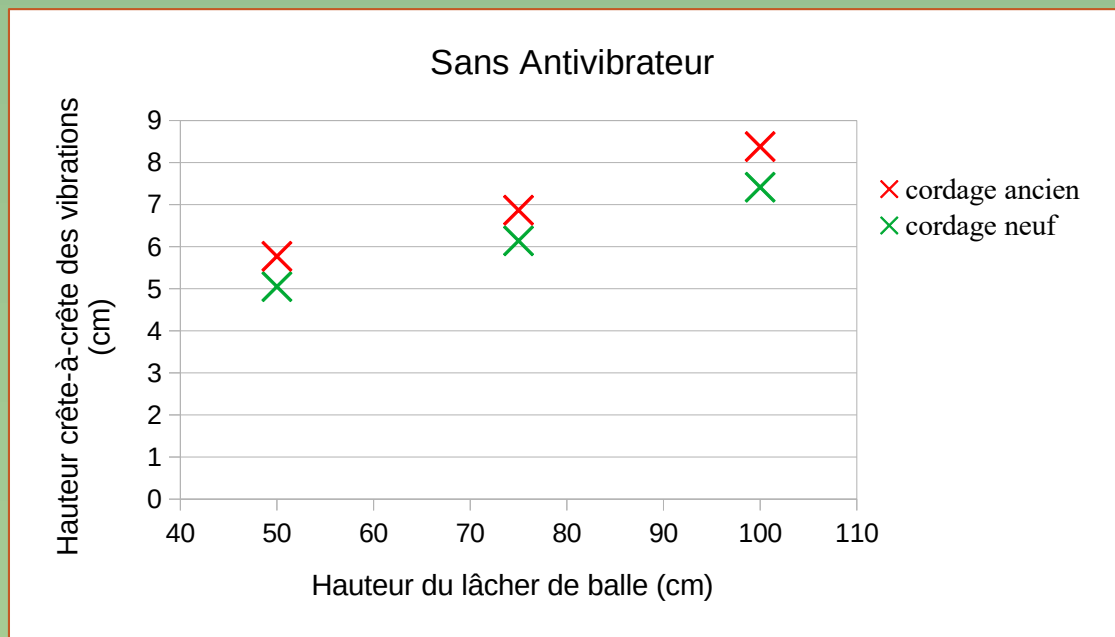
## Expérience « Amplitude des vibrations »



## 1- Variation de la tension

## 2- Usure naturelle du cordage

## Mesure des vibrations en fonction de la hauteur du lâcher de balle



antivibrateur

Déformation irréversible :

- ✗ augmentation des vibrations
- ✗ traumatisme pour le bras

## 1- Variation de la tension

## 2- Usure naturelle du cordage

## Résultats complémentaires des essais de traction

Diamètre du cordage (mm)	Domaine élastique	Domaine plastique	
	Module d'Young (MPa)	Force à la rupture (N)	Déformation à la rupture
1,30 [Mono]	6600	454	0,309
1,25 [Mono]	5810	409	0,334
1,30 [Multi]	1700	561	0,338

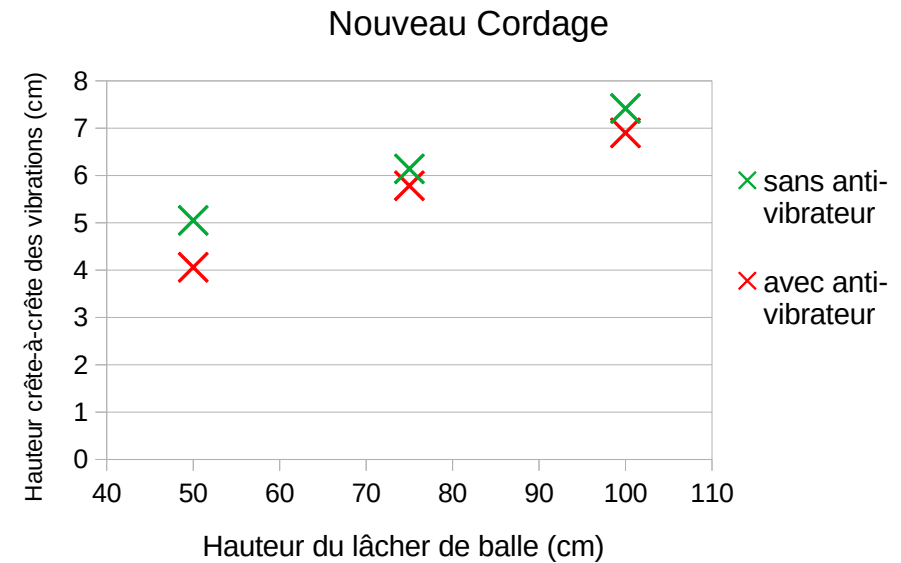
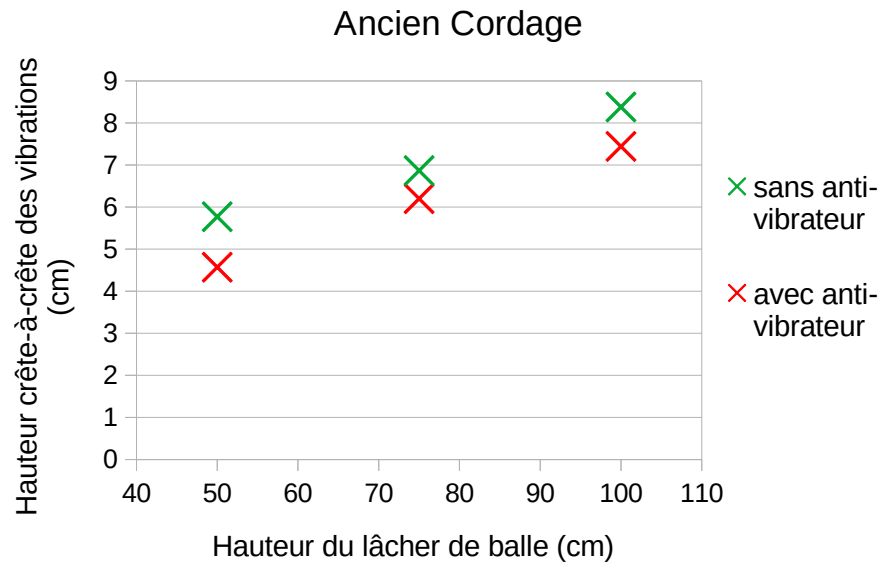
Cordage de faible diamètre ou multifilament :  
✓ réduction des vibrations



## 1- Variation de la tension

## 2- Usure naturelle du cordage

## Mesure des vibrations en fonction de la hauteur du lâcher de balle



Avec antivibrateur :

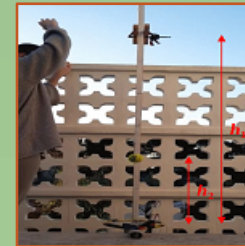
- ✓ réduction des vibrations
- ✗ utilité à confirmer par une étude approfondie

- Cordage multifilament ou petit diamètre :
  - ✓ gain en souplesse
  - ✗ **mais** cassant



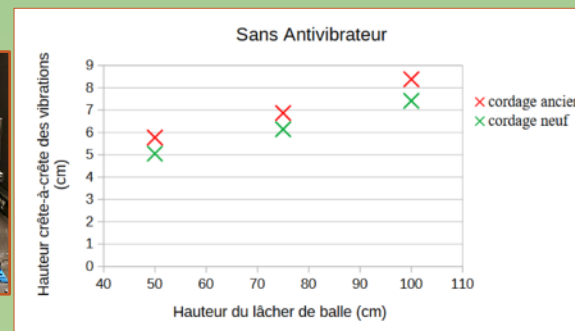
Diamètre du cordage (mm)	Domaine élastique	Domaine plastique
	Module d'Young (MPa)	Force à la rupture (N)
1,30 [Mono]	6600	454
1,25 [Mono]	5810	409
1,30 [Multi]	1700	561

- Cordage monofilament, gros diamètre ou forte tension :
  - ✓ réduction des fautes
  - ✗ **mais** perte de vitesse et de puissance de la balle



Tension	Hauteur du rebond $h_2$ (m)	Vitesse maximale après rebond $v$ (m/s)
20kg	$0,528 \pm 0,020$	$2,85 \pm 0,09$
30kg	$0,454 \pm 0,029$	$2,57 \pm 0,09$

- Cordage déformé irréversiblement :
  - ✗ augmentation des vibrations
  - ✓ **mais** phénomène limité si cordage rendu moins rigide



# Annexe 1 – Essais de traction

Cf diapo 7

## Relevé des points importants

Diamètre du cordage (mm)	Domaine élastique			Domaine plastique		
	Module d'Young (MPa)	Contrainte à la limite (MPa)	Déformation à la limite	Contrainte à la rupture (MPa)	Déformation à la rupture	Force à la rupture (N)
1,30 [Mono]	6600	43	0,0066	339	0,309	454
1,25 [Mono]	5810	46	0,0081	334	0,334	409
1,30 [Multi]	1700	13	0,0077	422	0,338	561

# Annexe 2 – Programmation - Young Cf diapo 7



```
1 ''' Fonction de calcul du module d'Young
2 Sachant que le module d'Young peut être calculé par la relation contrainte-déformation ( $E = \text{contrainte} / \text{déformation}$ )
3 on recherche la pente de la courbe (c.à.d. dans notre cas : le plus grand nombre de points qui passeront par une droite)
4 paramètre pX <=> liste des valeurs de déformation appliquées
5 paramètre pY <=> liste des valeurs de contraintes appliquées
6 paramètre pPoints <=> nombre de points à utiliser pour le calcul (permet de rester dans le domaine d'élasticité)
7 paramètre pTolerance <=> pourcentage d'erreur admis pour la recherche du module d'Young
8 '''
9 def getYoung(pX, pY, pPoints, pTolerance):
10     assert len(pX) == len(pY) # contrôle succinct des données passées en paramètres
11     print("Nombre de points mesurés : " + str(len(pY)) + " | Contrainte maxi : " + str(max(pY)))
12     elist = []
13     # Contrôle si le nombre de points mesurés est inférieur à la limite passée en paramètre, le programme ne doit pas s'arrêter
14     points = len(pX)
15     if points > pPoints:
16         points = pPoints
17
18     # Calcul de la pente (module d'Young) entre chaque point et le point d'origine (0,0)
19     for i in range(points):
20         if pX[i] > 0 and pY[i] >= 0 :
21             e = pY[i] / pX[i]
22             elist.append(e)
23
24     # Application de la tolérance d'erreur passée en paramètre
25     elist_haut, elist_bas = [], []
26     for i in range(len(elist)):
27         elist_haut.append(elist[i] * (1 + pTolerance))
28         elist_bas.append(elist[i] * (1 - pTolerance))
29
30     # Initialisation d'une liste de zéro
31     lst = [0] * len(elist)
32     # comparaison de chaque coefficient de pente à l'ensemble des autres
33     for i in range(len(elist)):
34         for j in range (len(elist)):
35             if j != i and elist[i] <= elist_haut[j] and elist[i] >= elist_bas[j]:
36                 # incrémente de 1 à chaque fois que la valeur est comprise dans l'écart type
37                 lst[i] = lst[i] + 1
38
39     index = lst.index(max(lst))
40     print("Module d'Young = " + str(elist[index]))
```

# Annexe 3 – Essais de traction

Cf diapo 7

Comparaison des données graphiques avec  
les données obtenues par programmation python

Diamètre du cordage (mm)	Module d'Young (MPa)		
	Données graphiques	Programme python (relevés)	Programme python (moyennes)
1,30 [Mono]	6600	6484,1 6622,2 6557,3	6554
1,25 [Mono]	5810	6334,6 6279,2 4701,6	5772
1,30 [Multi]	1700	1557,9 1890,8 1750,1	1733

# Annexe 4 – Programmation – Vitesse Cf diapo 12

```
1 ''' Calcul de la vitesse '''
2 def vitesse(pX, pY, t):
3     vX, vY, v = [], [], []
4     for i in range(1, len(pX) - 1):
5         vX.append((pX[i+1] - pX[i-1]) / (t[i+1] - t[i-1]))
6         vY.append((pY[i+1] - pY[i-1]) / (t[i+1] - t[i-1]))
7     for i in range(1, len(vX) - 1):
8         v.append(sqrt(vX[i]**2 + vY[i]**2))
9     print(v)
10
11 ''' paramètre pY <=> liste des hauteurs obtenues par le pointage vidéo'''
12 def hauteur_max(pY):
13     imin = -1
14     mini = pY[0]
15     maxi = 0
16     # on recherche la hauteur minimale (1er impact de la balle)
17     # et sa position dans la liste passée en paramètre
18     for i in range(len(pY)):
19         if pY[i] < mini:
20             mini = pY[i]
21             imin = i
22     # on recherche maintenant la hauteur maximale (après 1er impact)
23     maxi = max(pY[imin:])
24     return maxi
25
26 ''' paramètre pV <=> liste des vitesses calculées avec la méthode vitesse()'''
27 def vitesse_max(pV):
28     imax = -1
29     maxi = 0
30     # on recherche la vitesse maximale
31     for i in range(len(pV)):
32         if pV[i] > maxi:
33             maxi = pV[i]
34             imax = i
35
36     maxi = 0 # on remet le compteur à zéro avec la valeur suivante
37     for i in range(imax + 1, len(pV) - 1):
38         if (pV[i] > maxi) and (pV[i+1] > pV[i+2]) :
39             maxi = pV[i]
40
41     return maxi
```

# Annexe 5 – Perte de rigidité

Cf diapo 12

## Calculs de vitesse et d'énergie

Tension	Hauteur du lâcher h1 (m)	Hauteur du rebond h2 (m)	Vitesse maximale après rebond v (m/s)	Énergie absorbée par le cordage E <sub>ab</sub> (J)
20kg	1,55	0,528	2,85	0,561
30kg	1,54	0,454	2,57	0,597

$m = 56 \text{ g}$  Masse de la balle  
 $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  Accélération de la pesanteur  
 $v_1 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  Vitesse initiale  
 $v_2 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  Vitesse au sommet du rebond  
 $h_0 = 0 \text{ m}$  Hauteur au niveau du cordage

### Vitesse au niveau du cordage (juste avant impact)

$$E_{m1} = E_{avant}$$

$$E_{c1} + E_{p1} = E_{c0} + E_{p0}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 + m \cdot g \cdot h_0$$

D'où:  $v_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$

Soit:  $v_0 = 5,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

### Vitesse au niveau du cordage (juste après impact)

$$E_{m2} = E_{après}$$

$$E_{c2} + E_{p2} = E_{c,max} + E_{p0}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 + m \cdot g \cdot h_2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{max}^2 + m \cdot g \cdot h_0$$

D'où:  $v_{max} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_2}$

Soit:  $\begin{cases} v_{max(20 \text{ kg})} = 3,22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ v_{max(30 \text{ kg})} = 2,98 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases}$

### Énergie absorbée par le cordage

$$E_{tot, avant} = E_{tot, après}$$

$$E_{c0} + E_{p0} = E_{c,max} + E_{p0} + E_{ab}$$

D'où:

$$E_{ab} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_0^2 - v_{max}^2)$$