nº 38378
FOURNIER E.

TIPE 2023-2024 JEUX,SPORTS

MINIMISATION DES RISQUES LORS D'UNE CHUTE EN ESCALADE

https://www.eureka-attractivite.fr/jy-vais/itineraires-de-randonnee-pedestre-equestre-et-trail/sites-descalade/

Problématique

Quelles sont les caractéristiques de la corde dynamique permettant de dire qu'elle est la plus adaptée pour assurer un grimpeur ?

Sommaire :

1 ère partie: 2 familles de corde d'escalade

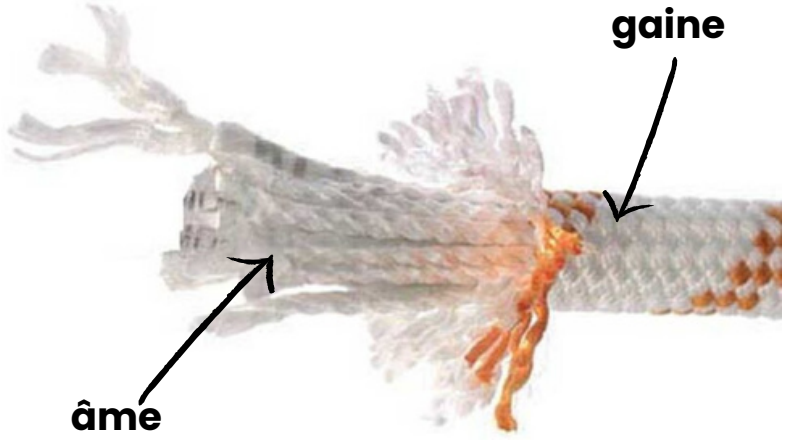
- Composition et structure des cordes
- Module de Young et énergie emmagasinée

2 ème partie: choix de la corde dynamique

- Allongements , facteur de chute et force de choc
- Influence de l'usure sur les capacités de la corde

Composition et structure des cordes

- âme : fournit les propriétés mécaniques de la corde (élasticité, allongement…)
- gaine : protège l'âme des agressions extérieures (UV, humidité..)



<u>corde dynamique :</u> âme en nylon

<u>corde statique :</u> âme en polyester (- élastique que le nylon)

https://www.hardloop.fr/article/0462-comment-bien-choisir-sa-corde-d-escalade, https://boutique-lesartsdelagrimpe.com/blog/la-norme-epi.html

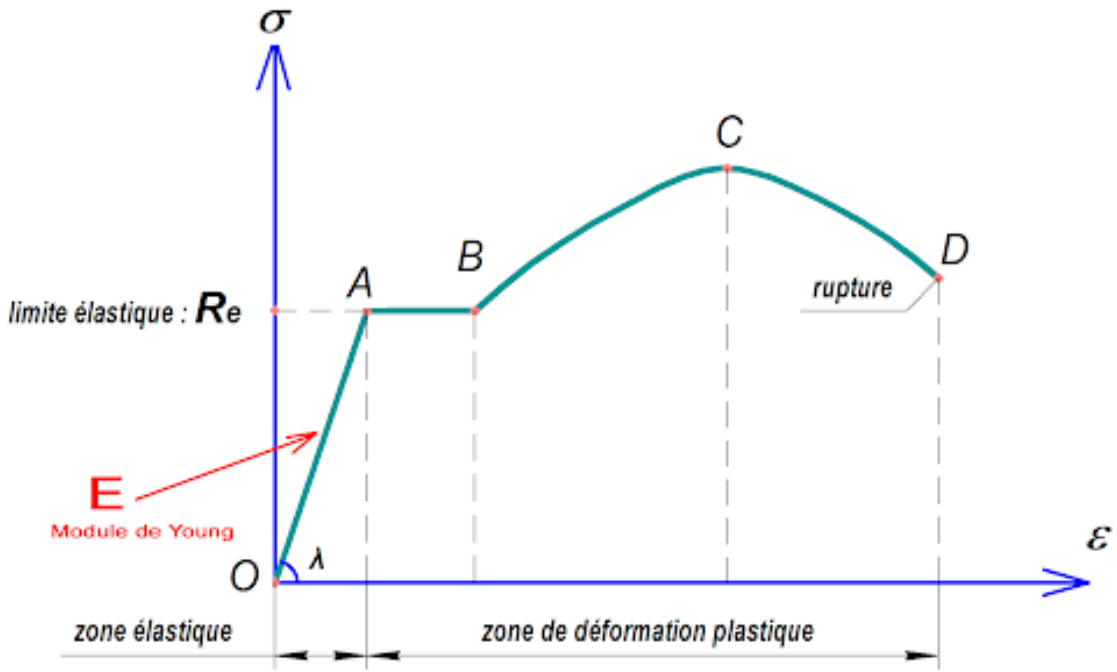
Module de Young

↪ Caractérise l'élasticité de la corde

Formule :

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

- **σ** tension appliquée sur une section de la corde
- **ε** allongement relatif de la corde



Nylon	~3 GPa
Polyester	~4.5 GPa

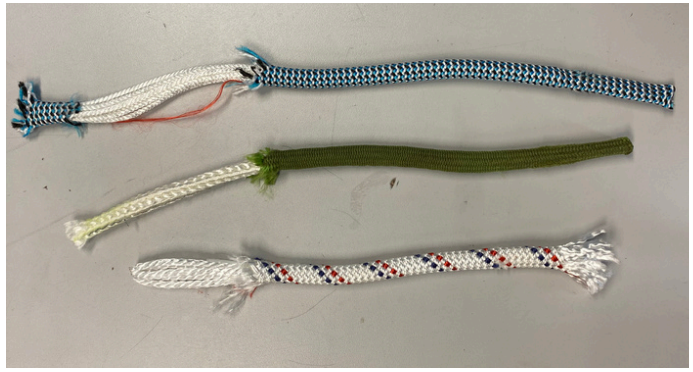
http://tonepi.com/resistance-des-materiaux-rdm/sollicitation-simple-traction-et-compression-cours.html#google_vignette

Détermination du module de Young :

Objectif : tracer la courbe σ=f(ε)

Matériel:

- 1 corde dynamique
- 1 corde semi-statique



cordes après rupture

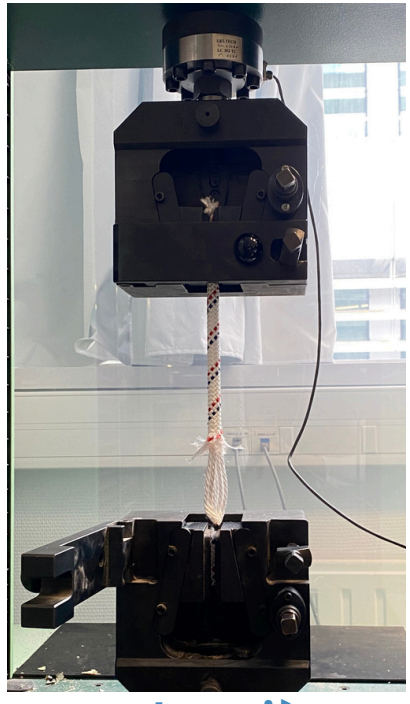
Protocole et données :

Essai de traction jusqu'à rupture de la corde

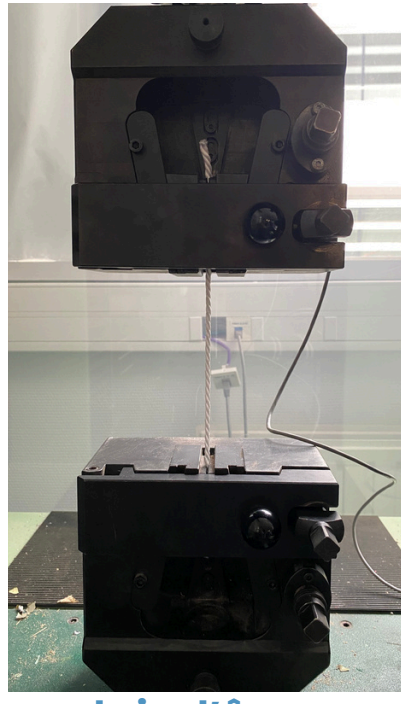
- Charge de 50kN
- Vitesse de 5mm/s

Diamètres et longueurs initiales :

- corde statique: d= 10,5mm , L0 = 152 mm
- corde dynamique: d= 10mm , L0 = 194 mm
- brin d'âme statique : d= 1,5mm , L0 = 108mm
- brin d'âme dynamique : d= 1mm , L0 = 139mm



corde entière



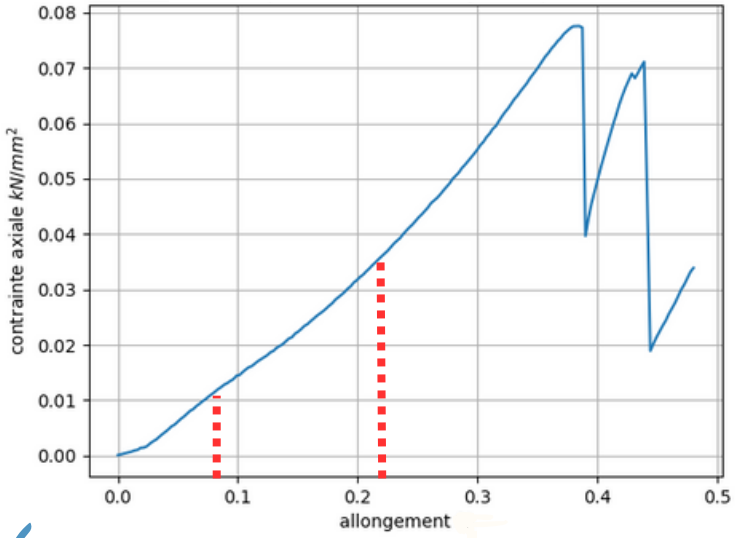
brin d'âme

Lieu : Lycée Chevrollier, Angers

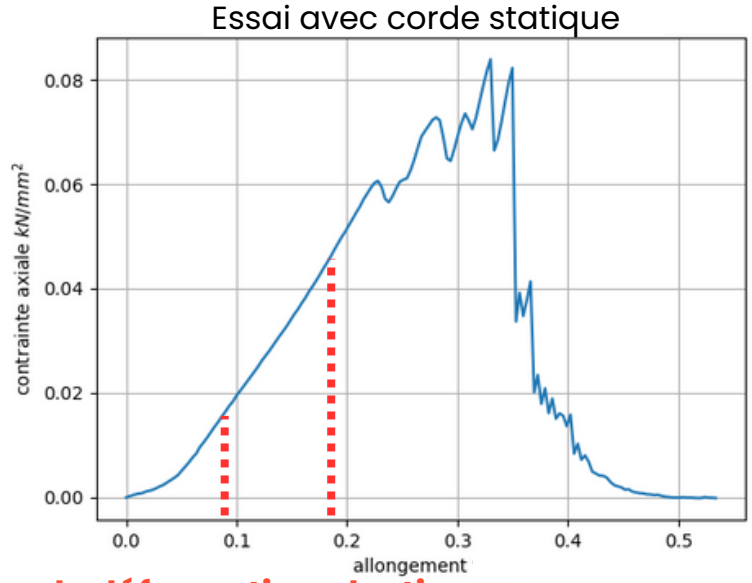
Exploitation Python

Essai de traction pour une corde :

Essai avec corde dynamique



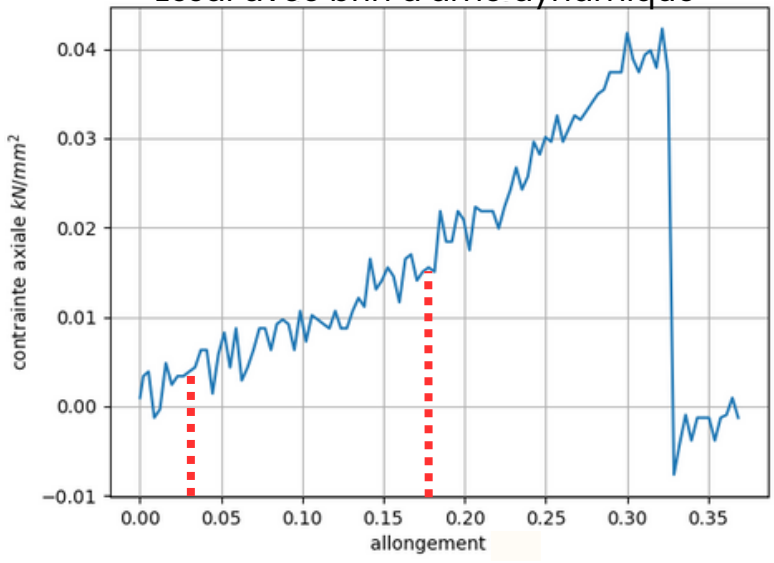
Essai avec corde statique



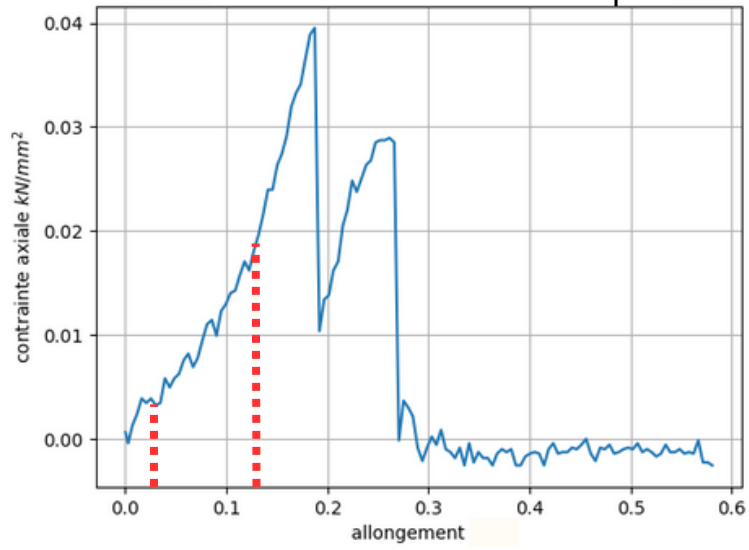
la corde doit rentrer le - possible dans sa zone de déformation plastique

Essai de traction pour un brin d'âme :

Essai avec brin d'âme dynamique



Essai avec brin d'âme statique



Résultats

Essai sur corde

type de corde	Module de Young (E) expérimental
dynamique	0.20GPa
statique	0.31GPa

Essai sur brin d'âme

type de corde	Module de Young (E) expérimental
dynamique	0.08GPa
statique	0.0144GPa

Observations :

- E stat. > E dyn.

  ↳ **corde dynamique + élastique**

- sources d'erreurs : matériau composé, tressage, corde qui glisse pendant l'essai.

Nylon	~3 GPa
Polyester	~4.5 GPa

Energie emmagasinée

Objectif : déterminer l'énergie emmagasinée par la corde
tracer la courbe σ=f(ε)

Matériel:

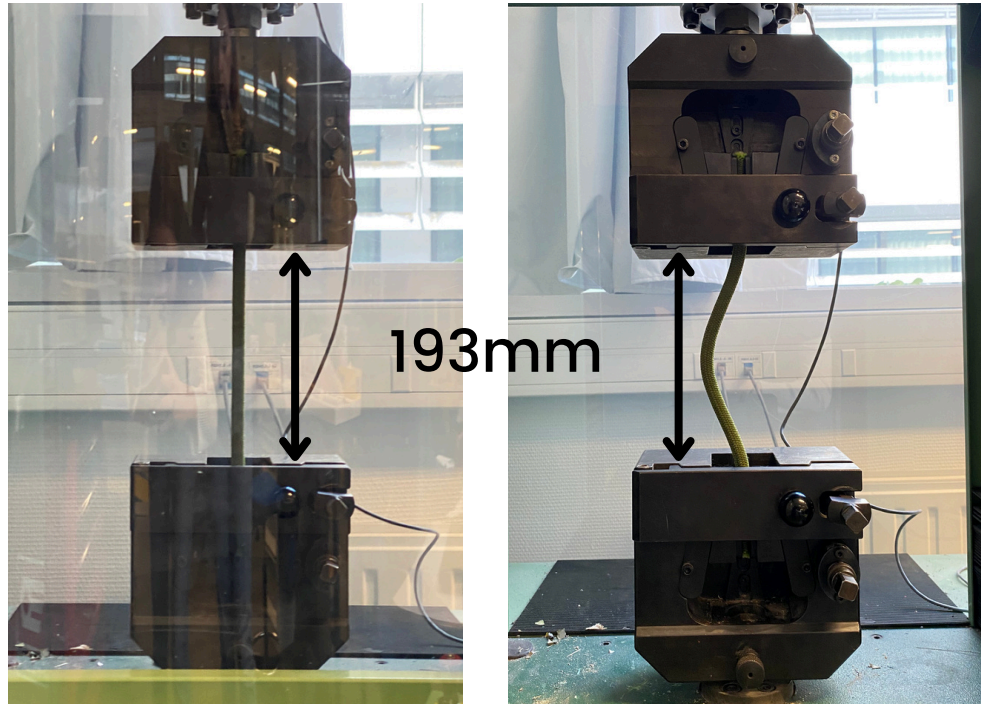
- 1 corde dynamique
- 1 corde semi-statique

Protocole :

Aller retour (cycle),
1) position initiale (0mm)
2)on tend la corde
3)retour à la position initiale

Essais pour :

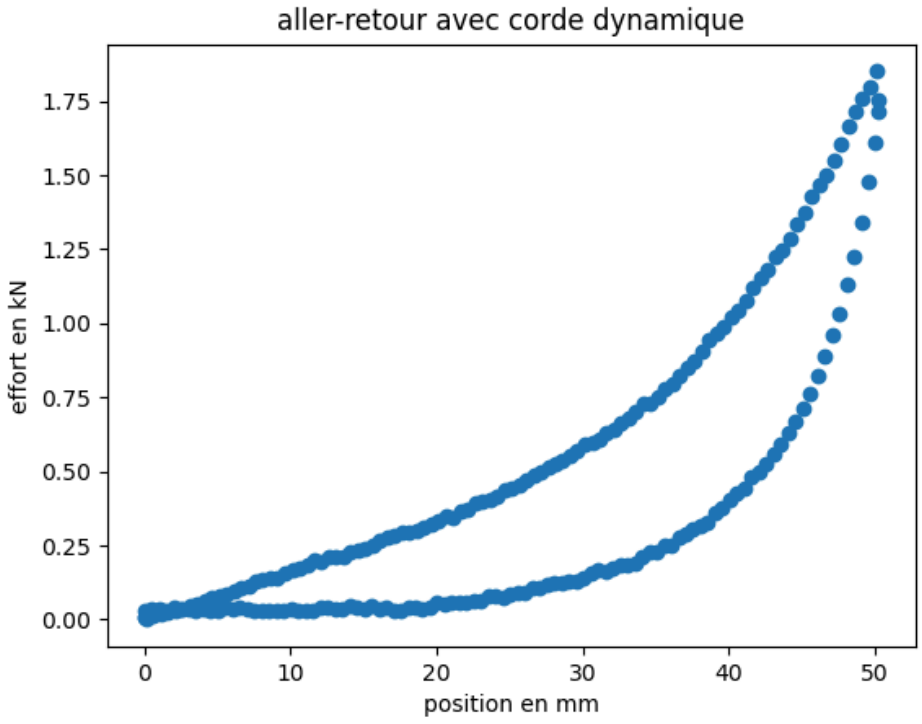
- 50 mm
- 25mm

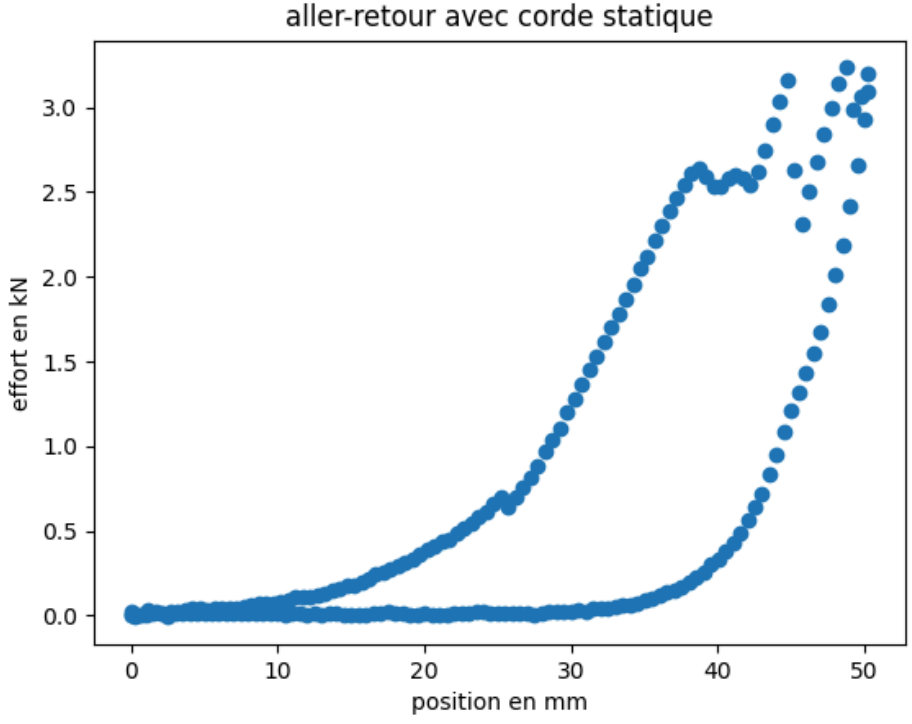


déformation plastique de la corde

Lieu : Lycée Chevrollier, Angers

Aller-retour 50mm :



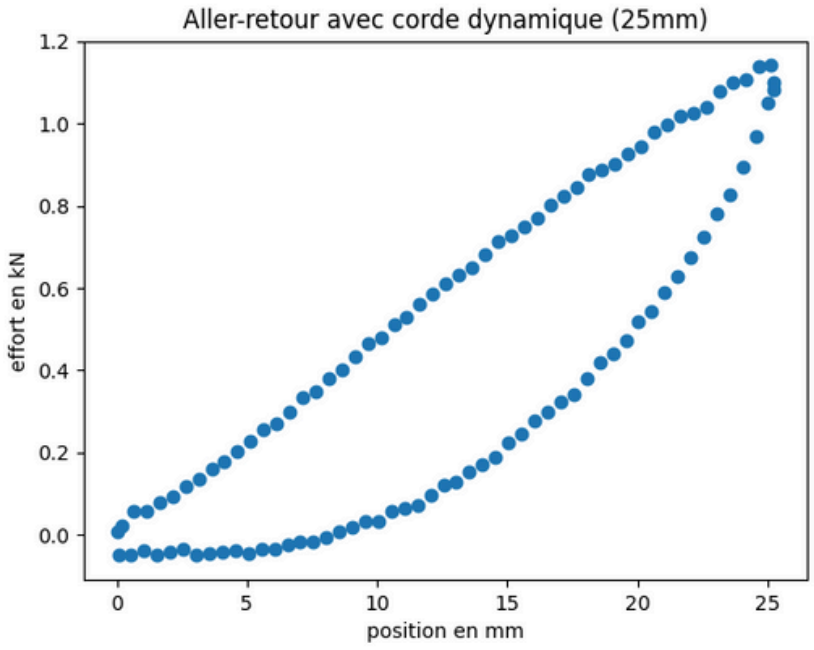


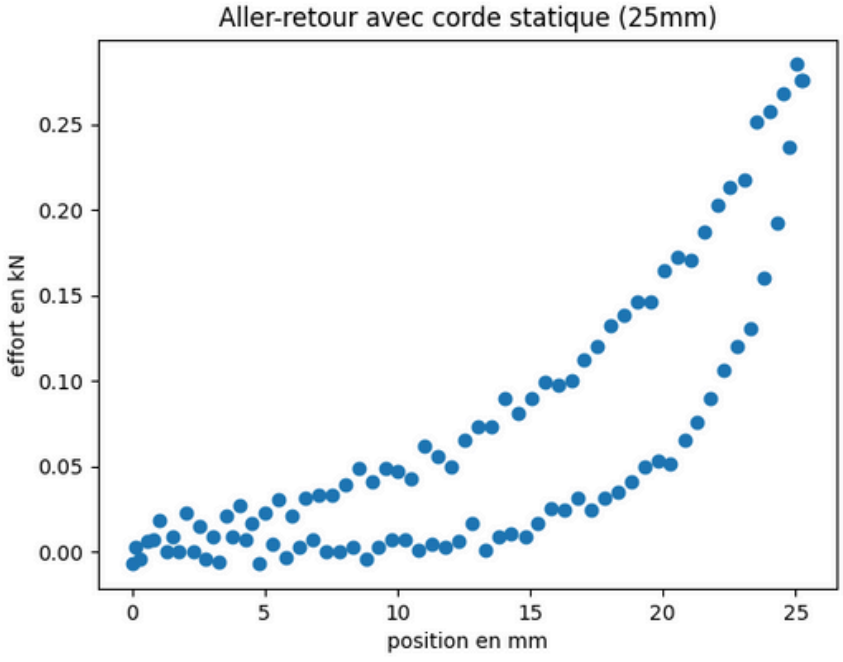
Aire du cycle = énergie emmagasinée

<u>Observations:</u>

- aire corde statique > aire corde dynamique => incohérence
- les 2 cordes absorbent de l'énergie : déformation plastique

Aller-retour 25mm :





Calcul de l'aire :

Type de corde	énergie emmagasinée par unité de longueur	longueur initiale
dynamique	28 J/m	320mm
statique	5 J/m	292mm

Conclusion:

- Corde dynamique absorbe + d'énergie
- cycle = déformation plastique

  ↳ **la corde perd ses propriétés élastiques = nb de chutes limité**

- expérience réalisée sur un échantillon => écart avec les valeurs réelles

Choix de la corde dynamique

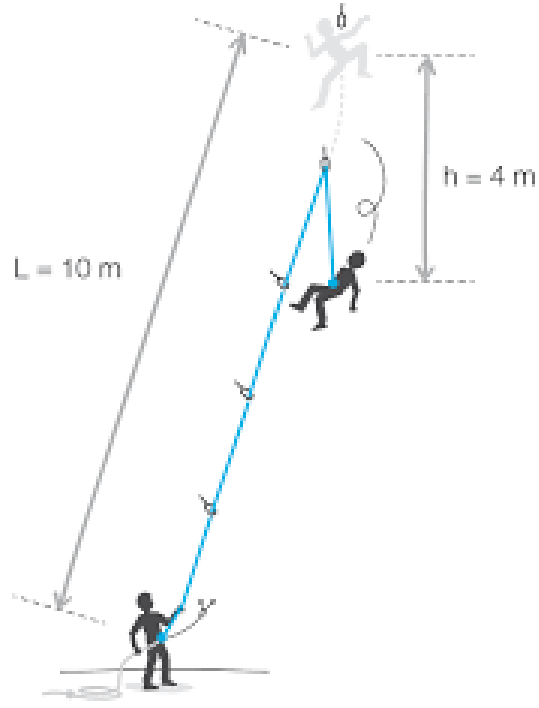
- Allongements, facteur de chute et force de choc
- Allongements expérimentaux et influence de l’usure

Facteur de chute et force de choc

Facteur de chute:

- Quantifie la sévérité de la chute
- compris entre 0 et 2 (théorique)

$$F = \frac{h}{L}$$



$$F = \frac{4}{10} = 0,4$$

Force de choc:

Force de décélération que subit un grimpeur lors d'une chute

$$Fc = mg\left(1 + \sqrt{1 + \frac{2FE}{mg}}\right)$$

- m la masse du grimpeur
- g l'accélération de la pesanteur
- E le module de Young
- F le facteur de chute

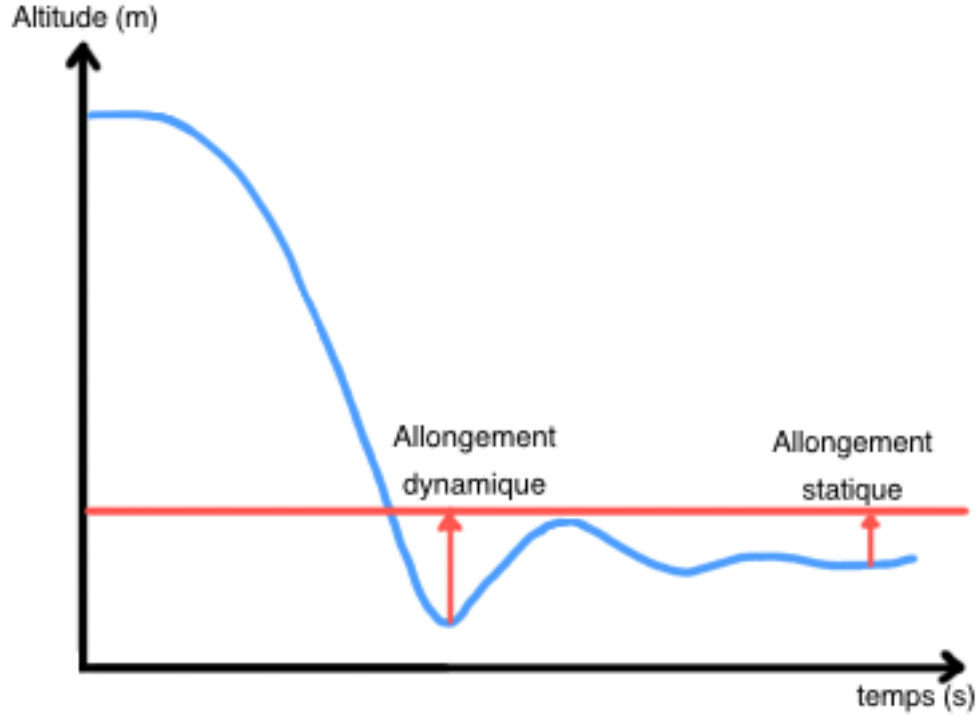
Allongements statiques et dynamiques

Allongement statique:

- Allongement de la corde sous une masse.
- Environ =10% pour une corde dynamique

Allongement dynamique:

- Manière dont la corde s'allonge en cas de chute.
- Normes: < 40%.
- Un allongement dynamique trop élevé augmente le risque de chuter sur le sol



Evolution théorique de l'altitude du grimpeur lors d'une chute en fonction du temps

Allongements et force de choc

Objectifs :
- mesurer allongements statiques et dynamiques d'une corde dynamique
- déterminer influence de l'usure sur la corde

Matériel :
- corde dynamique (6m)
- masse (20 kg)

Protocole :

→ Chute d'une masse au bout de la corde :
- " grande " chute (~4m50)
- " petite " chute (~1m85)

→ Répétition de la " petite " chute ~30 fois

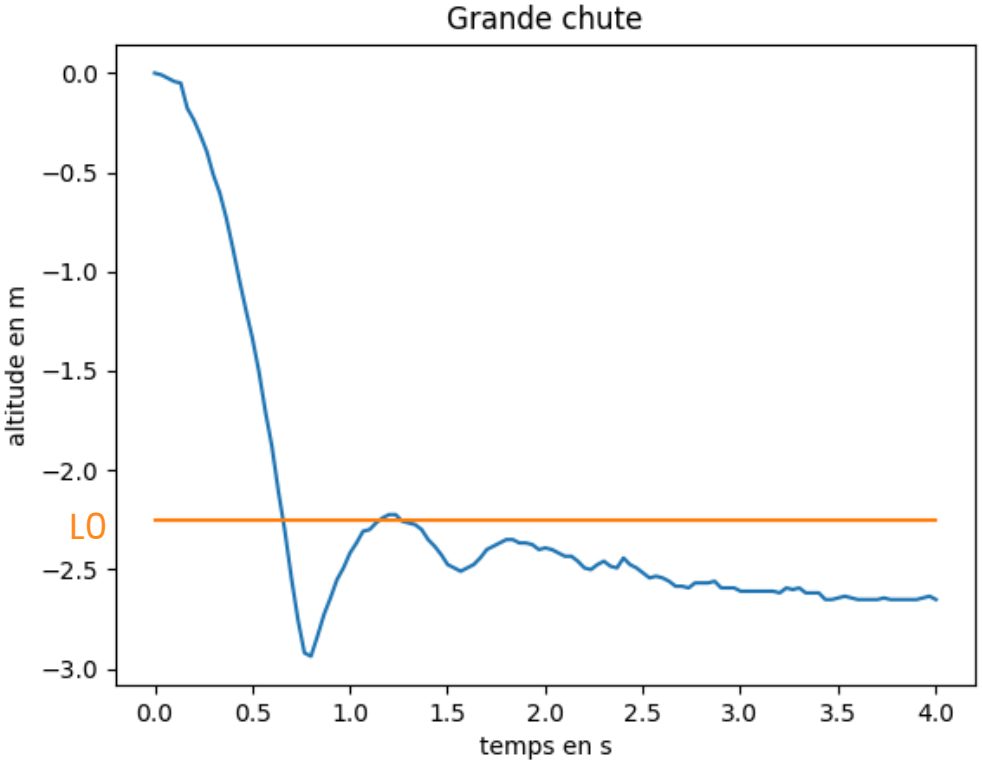
→ Allongements : pointage sur **regressi** : courbe position en fonction du temps.

Lieu : La pierre Bécherelle, Epiré

" grande " chute

" petite " chute

Allongement de la corde (grande chute)



Mesures :

L0 = 2m25

allongement	dynamique	statique
théorique	31.1 %	6.3 %
expérimental	30.7%	17.8%

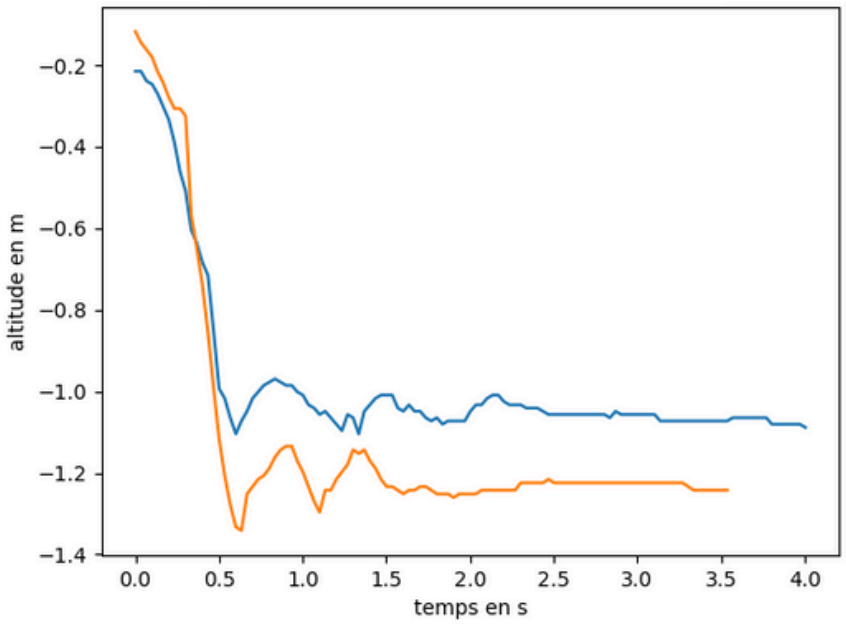
Observations :

- Allongement dynamique en accord avec la théorie
- Ecart sur l'allongement statique :
  -> imprécisions pointage
  -> oscillations pneu

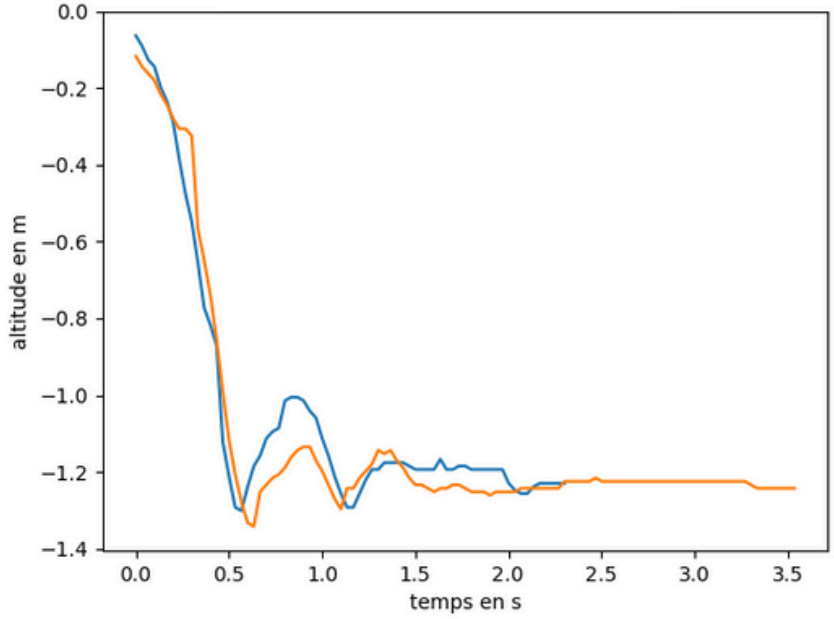
Allongement dynamique suffisant pour protéger le grimpeur

Effets de l'usure (petite chute)

Première et 30ème chutes



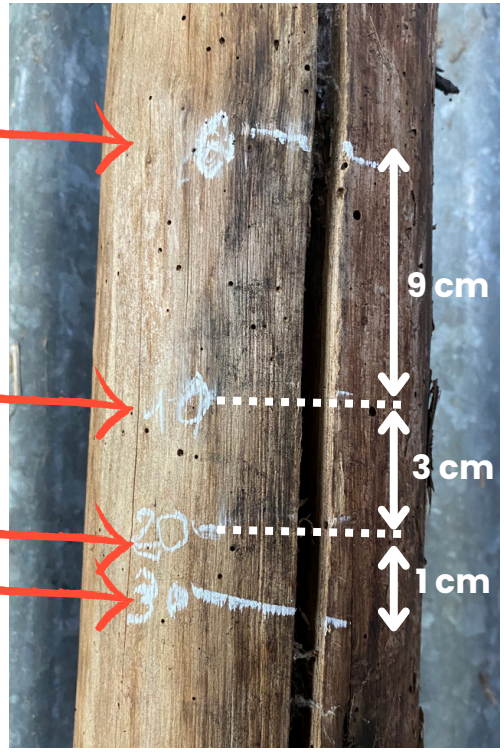
20ème et 30ème chutes



longueur L0 de la corde

longueur au bout de 10 lancés

longueurs au bout du 20ème et 30ème lancés



extension de la corde

Observations :

- déformation plastique lors d'une chute
- atteinte d'un " seuil " de déformation
- perte de propriétés élastiques

Possible glissement du nœud

Conclusion

- **L'élasticité** de la corde dynamique lui permet de protéger le grimpeur lors du **choc**
  - l'élasticité dépend du module de Young
  - absorption d'énergie grâce à l'allongement
- Le **facteur de chute** et la **force de choc** déterminent la **sévérité** de la chute
  - recherche d'un facteur minimal
- **L'usure** de la corde affecte ses propriétés
  - perte d'élasticité, déformation de la corde
  - nombre de chutes limite

Il est donc **essentiel** de contrôler **régulièrement** l'usure d'une corde d'escalade

Annexes

Démonstration de la formule de la force de choc

- $E_{pp} = mg(h + \Delta l_{max}) = e = \frac{1}{2} k \Delta l_{max}^2$

ie $\Delta l_{max}^2 - \frac{2mg\Delta l_{max}}{k} - \frac{2mgh}{k} = 0$

- Soit en gardant la racine positive :

$$\Delta l_{max} = \frac{mg}{k} + \frac{mg}{k}\sqrt{1 + \frac{2kh}{mg}}$$

D'où : $\Delta l_{max} = \frac{mgl_0}{E}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{2FE}{mg}}\right)$ avec $k = \frac{E}{l_0}$ et $F = \frac{h}{l_0}$

- Enfin, $F_{choc} = k\Delta l_{max}$ d'où $\boxed{F_{choc} = mg\left(1 + \sqrt{1 + \frac{2FE}{mg}}\right)}$

Programme python (essai de traction)

Exploitation des données (fichier txt) sur Capytale (python)

Entrée[10]:
```
data=pd.read_csv('essai1dynamique.txt',sep=';')
```

Entrée[11]:
```
data.head()
```

Sortie[11]:

	Temps	Posit.	Effort	Extens.	Auxi.
0	0.0	0.00	0.0076	0	0
1	0.1	0.26	0.0137	0	0
2	0.2	0.71	0.0228	0	0
3	0.3	1.19	0.0366	0	0
4	0.4	1.69	0.0457	0	0

Entrée[12]:
```
data.columns
```

Sortie[12]:
```
Index(['Temps', 'Posit.', 'Effort', 'Extens.',
       'Auxi.                                                  '],
      dtype='object')
```

Entrée[13]:
```
plt.figure()
plt.scatter(data['Posit.'],data['Effort'])
plt.title('cassure avec corde dynamique')
plt.xlabel('position en mm')
plt.ylabel('effort en kN')
plt.show()
```

Programme python (aller-retour)

Données préalables

Entrée[185]:
```
x_max=max(data['Positm'])
x_min=min(data['Positm'])
```

Entrée[186]:
```
def recherche_ind(x,L):
    n=len(L)
    ind=0
    for i in range(n):
        if L[i]==x:
            ind=i
    return ind

#pour pouvoir retrouver les indices correspondant à x_min et x_max
#dans data[Positm]
```

Entrée[187]:
```
ind_x_max=recherche_ind(x_max,data['Positm'])
ind_x_min=recherche_ind(x_min,data['Positm'])
```

Fonctions séparées

Entrée[190]:
```
x1=[]
for i in range(ind_x_max+1):
    x1.append(data['Positm'][i])
x1=np.array(x1)

y1=[]
for i in range(ind_x_max+1):
    y1.append(data['EffortN'][i])
y1=np.array(y1)
```

Entrée[191]:
```
x2=[]
n=len(data['Posit.'])
for i in range(ind_x_max,n):
    x2.append(data['Positm'][i])
x2=np.array(x2)

y2=[]
for i in range(ind_x_max,n):
    y2.append(data['EffortN'][i])
y2=np.array(y2)
```

Entrée[192]:
```
f=interpolate.interp1d(x1,y1)
g=interpolate.interp1d(np.flip(x2),np.flip(y2))
```

Entrée[193]:
```
x1_new=np.arange(0,data['Positm'][ind_x_max-2],0.00001)
y1_new=f(x1_new)
```

Entrée[194]:
```
x2_new=np.arange(data['Positm'][n-1],data['Positm'][ind_x_max], 0.00001)
y2_new=g(x2_new)
```

Calcul de l'aire

Entrée[199]:
```
N=100
absc=[0.0]
tmp=0
for i in range(0,N):
    tmp = tmp + (x_max-x_min)/N
    absc.append(tmp)
for j in range(len(absc)):
    absc[j]=round(absc[j],5)
```

Entrée[202]:
```
def aire1(absc,f,x_min,x_max,N):
    n=len(absc)
    aire=0
    l=(x_max-x_min)/N

    for i in range(n):
        aire+=l*(f(absc[i]))
    return(aire)
```

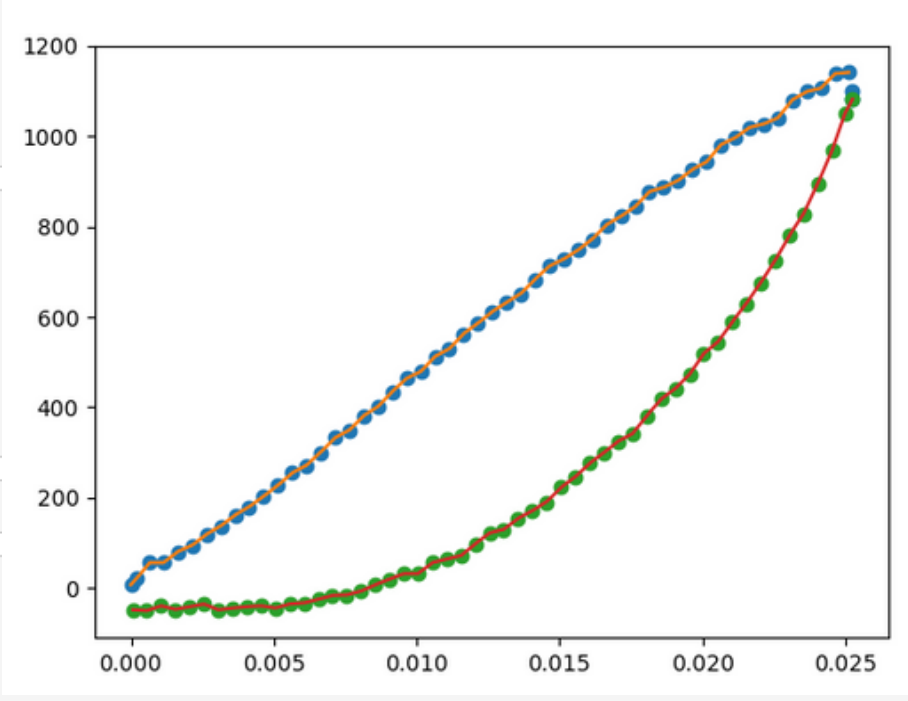
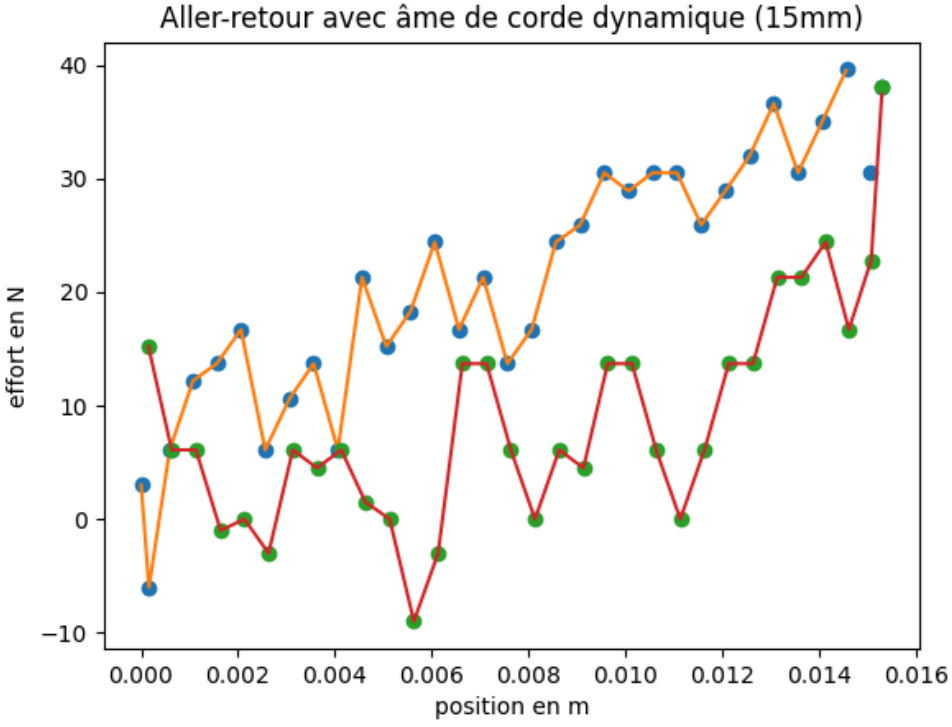
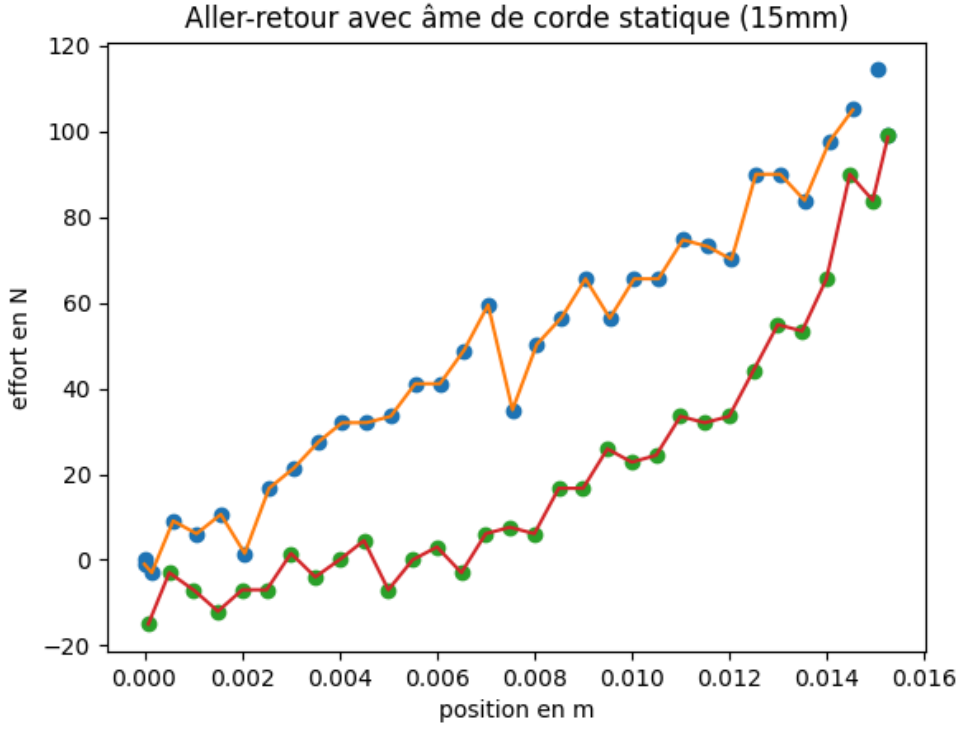
Entrée[203]:
```
a1=aire1(absc,f,x_min,x_max,100)
```

Entrée[205]:
```
def aire2(absc,g,x_min,x_max,N):
    n=len(absc)
    aire=0
    l=(x_max-x_min)/N

    for i in range(1,n):
        aire+=l*(g(absc[i]))
    return(aire)
```

Entrée[206]:
```
a2=aire2(absc,g,x_min,x_max,100)
```

Entrée[207]:
```
def aire_tot(aire1,aire2): #avec pour nous : T=absc (déterminé au dessus)
    aire=aire1-aire2
    return("l'aire sous la courbe est : ",aire)
```



Aller-retour sur un brin d'âme (15mm)