

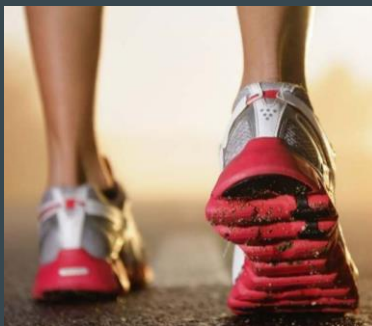
# TIPE - Optimisation de l'amorti d'une chaussure de sport



Thème : Santé Prévention

# Introduction :

- Pratique de plus en plus fréquente de la course à pied
- Offre pléthorique



# **Problématique :**

## **Comment optimiser l'amorti d'une chaussure de sport ?**

# Sommaire :

## 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

1.2. Le rôle de l'amorti dans une chaussure

## 2. L'amorti optimum

2.1. Les critères pertinents

2.2. Test dit de Charpy

## 3. Modélisation mécanique de l'amorti

3.1. Comment modéliser le pied ?

3.2. L'amorti de la semelle

# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

Course appui avant puis talon



Pose de la pointe puis  
du talon



# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

### Course appui avant puis talon



Pose de la pointe puis  
du talon



### Course appui talon (la plus répandue)



Pose du talon puis de  
la pointe



# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

Protocole expérience 1 (première partie) :

Objectif : étudier la force exercée par le coureur au fil du temps

- Utilisation d'une plaque de force



- Limitation de l'étude à la composante verticale de la force (Z sur la figure ci-contre)

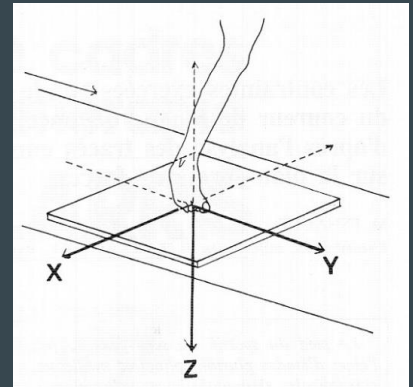


Figure : La plateforme et les trois directions des vecteurs de force qui s'y exercent lors du passage du pied  
(source : mémoire Mr ESNAULT)

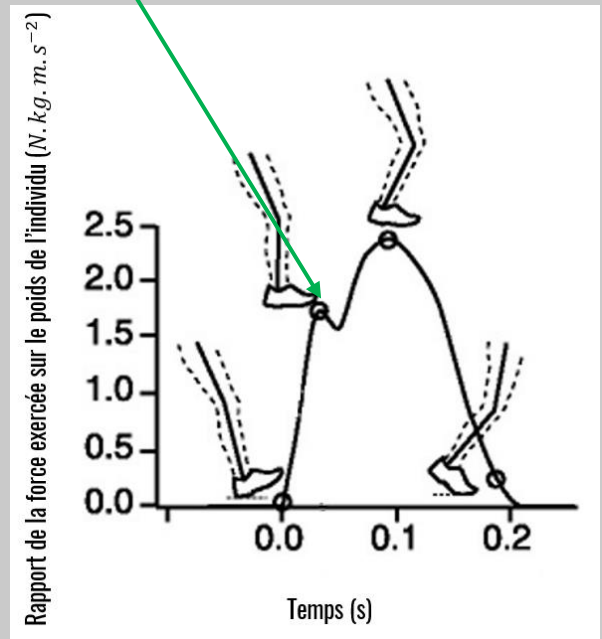
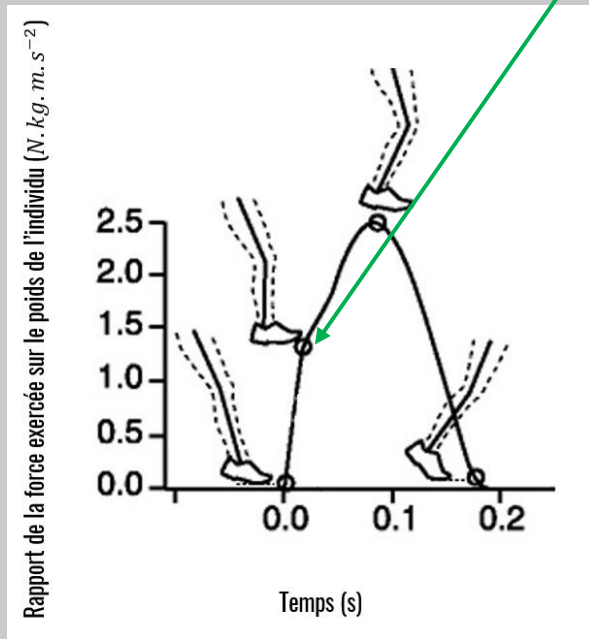
Résultats : Tracés différents selon le profil du coureur

# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

### Allure des courbes théoriques

Pic caractéristique de l'impact du pied sur le sol



Source : article de LIEBERMAN Daniel



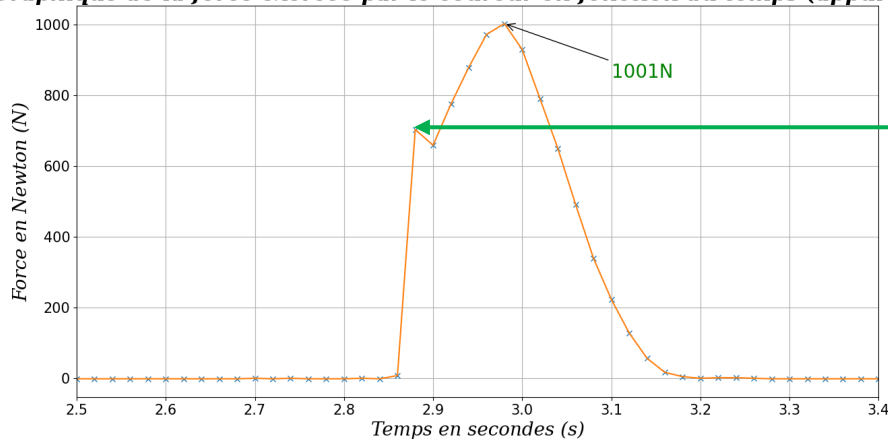
# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

4 profils étudiés :

Individu	A	B	C	D
Masse	53 kg	43 kg	68 kg	54 kg
Taille	1,56 m	1,54 m	1,69 m	1,64 m
Tranche d'âge	10-20 ans	10-20 ans	50-60 ans	50-60 ans
Sportif	Oui	Oui	Oui	Non
Sexe	Homme	Femme	Homme	Femme

**Graphique de la force exercée par le coureur en fonction du temps (appui talon)**



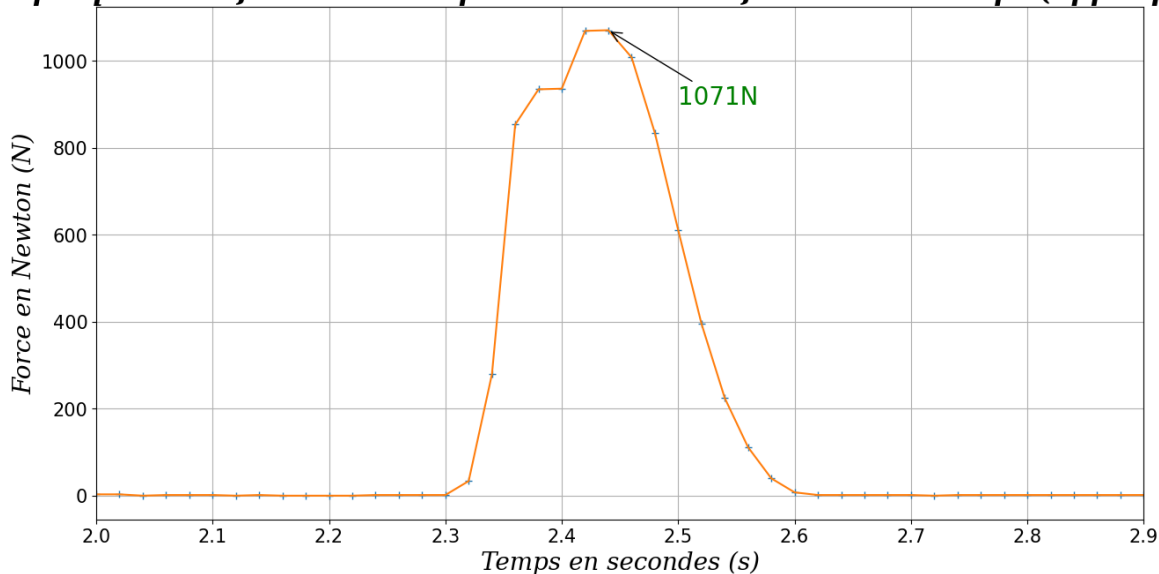
Pic  
caractéristique  
de l'impact du  
talon sur le sol

# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

### Course appui avant puis talon

**Graphique de la force exercée par le coureur en fonction du temps (appui pointe)**

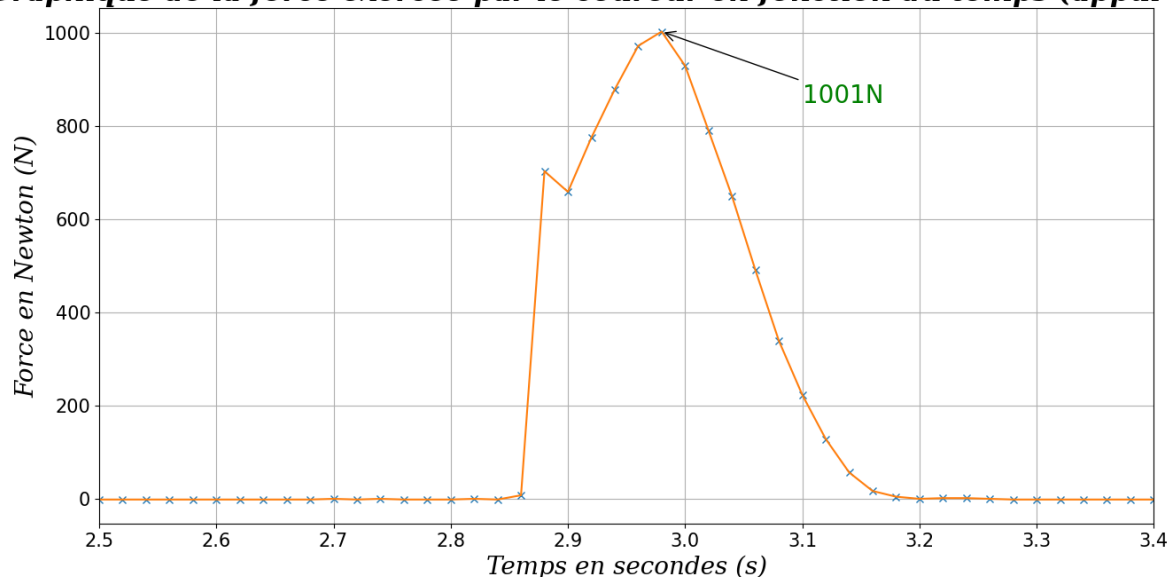


# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

### Course appui avant puis talon

**Graphique de la force exercée par le coureur en fonction du temps (appui talon)**

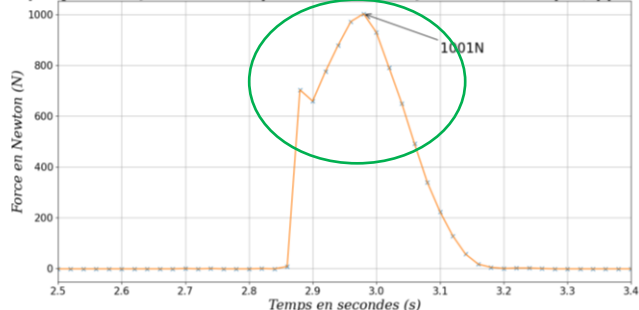


# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

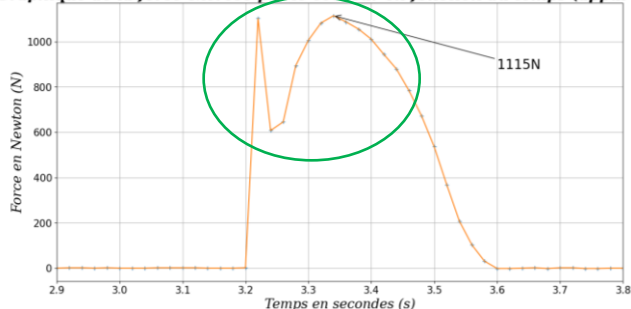
### ● Individu A

Graphique de la force exercée par le coureur en fonction du temps (appui talon)



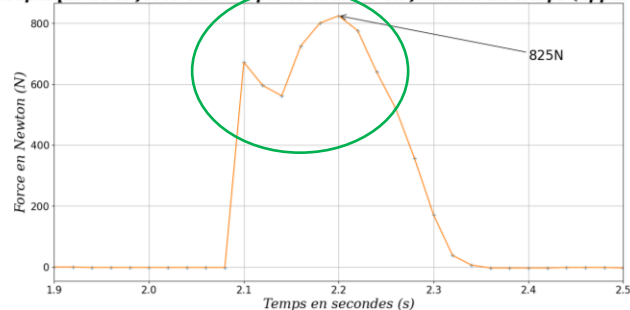
### ● Individu C

Graphique de la force exercée par le coureur en fonction du temps (appui talon)



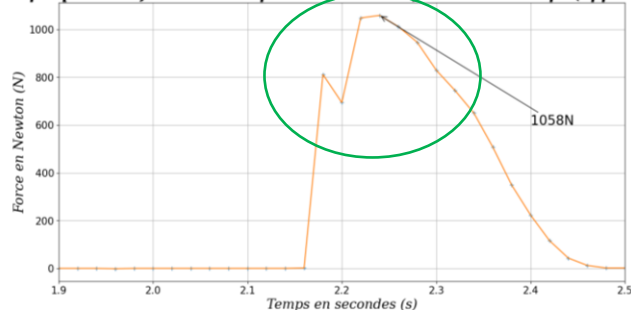
### ● Individu B

Graphique de la force exercée par le coureur en fonction du temps (appui talon)



### ● Individu D

Graphique de la force exercée par le coureur en fonction du temps (appui talon)

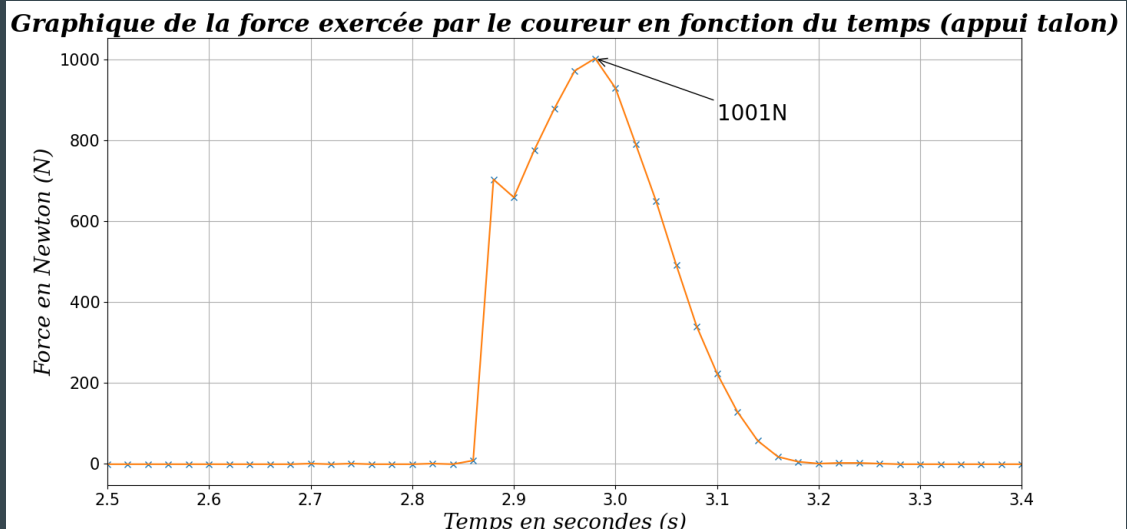


# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.1. La biomécanique pour comprendre le mouvement

### Conclusion expérience 1 :

- Nécessité d'adapter l'amorti à chaque personne selon sa manière de courir
- Nécessité d'un système amortisseur



But : limiter l'impact du pied sur le sol => réduction de la force maximale

# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.2. Le rôle de l'amorti dans une chaussure



Qu'est ce qu'un **système amortisseur**?

But : réduire le plus progressivement possible les pics de forces apparaissant lors d'un impact

- Soit  $p$  la quantité de mouvement du pied (de masse  $m$  animé d'une vitesse  $v$ )
- Lorsque le pied est au sol on suppose que  $v = 0 \text{ m.s}^{-1}$  donc que  $p_{sol} = 0 \text{ N.s}$

$$\Delta p = p_{sol} - p_{départ} = -p_{départ} = - \int_{t_{sol}}^{t_{départ}} F \cdot dt = \int_{t_{départ}}^{t_{sol}} F \cdot dt = A$$

où  $A$  : aire sous la courbe

# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.2. Le rôle de l'amorti dans une chaussure

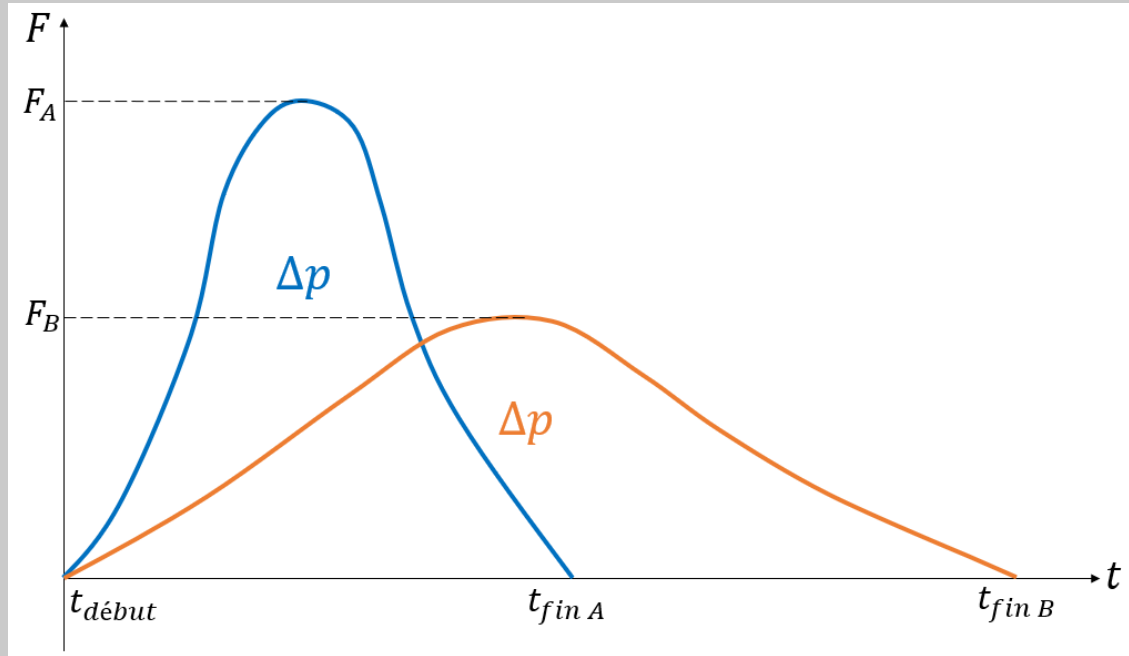


Figure : comparaison de la force maximale en fonction du temps de contact du pied avec le sol

# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

## 1.2. Le rôle de l'amorti dans une chaussure

Exemple d'un profil étudié :

- Garçon de 15 ans
- Sportif

Chaussures de sport étudiées :



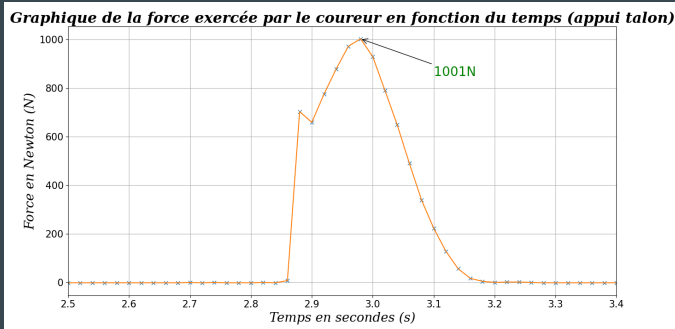
- Matériau de l'amorti : caoutchouc
- Epaisseur de l'amorti : 2,5cm



# 1. Généralités sur la course à pied et le rôle de l'amorti

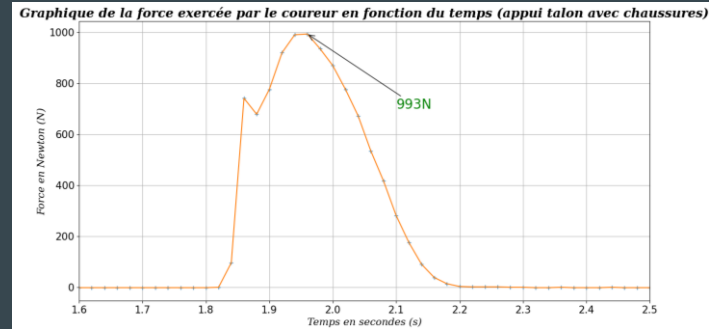
## 1.2. Le rôle de l'amorti dans une chaussure

- Courbe sans chaussures :



$$\Delta p_1 = 165$$

- Courbe avec chaussures :



$$\Delta p_2 = 196$$



## 2. L'amorti optimum

### 2.1. Les critères pertinents

Critères d'un bon système amortisseur retenus pour l'étude

Matériau

Epaisseur

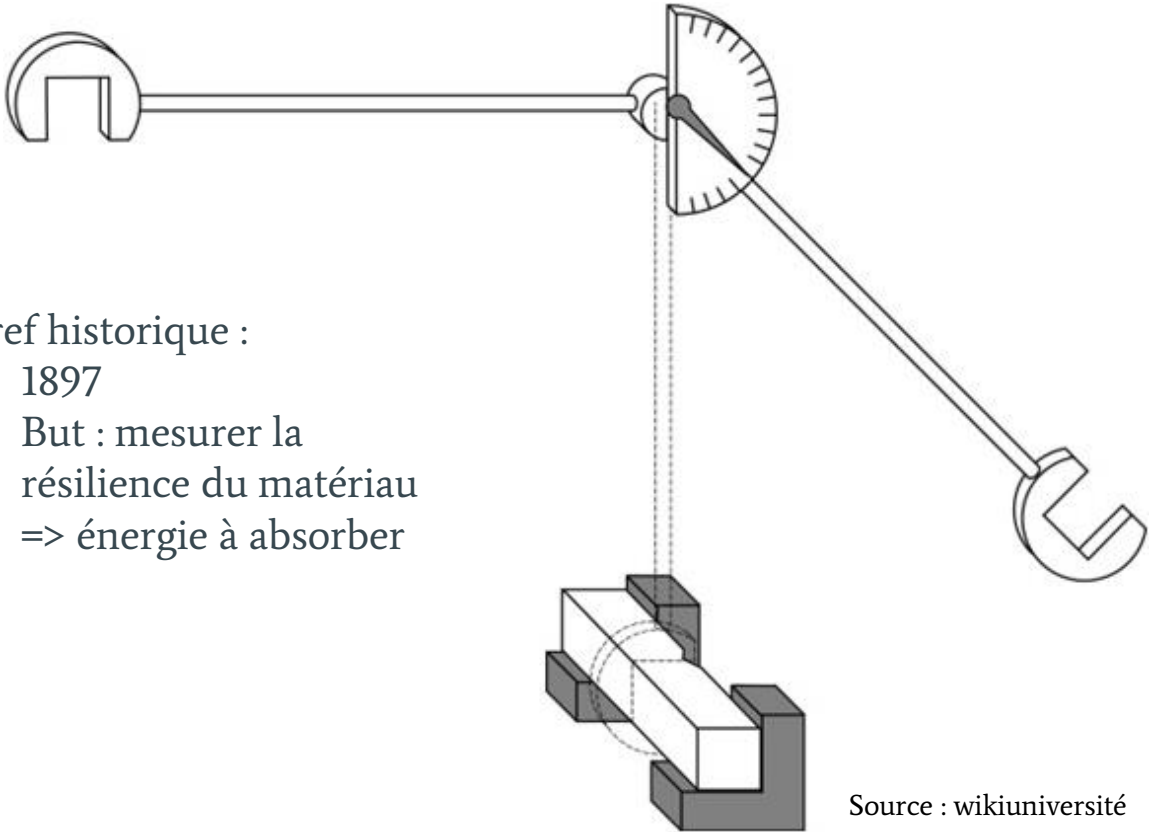
Grandeur à comparer :  
énergie absorbée

# 2. L'amorti optimum

## 2.2. Test dit de Charpy

Bref historique :

- 1897
- But : mesurer la résilience du matériau  
=> énergie à absorber



Source : wikiuniversité

## 2. L'amorti optimum

### 2.2. Test dit de Charpy

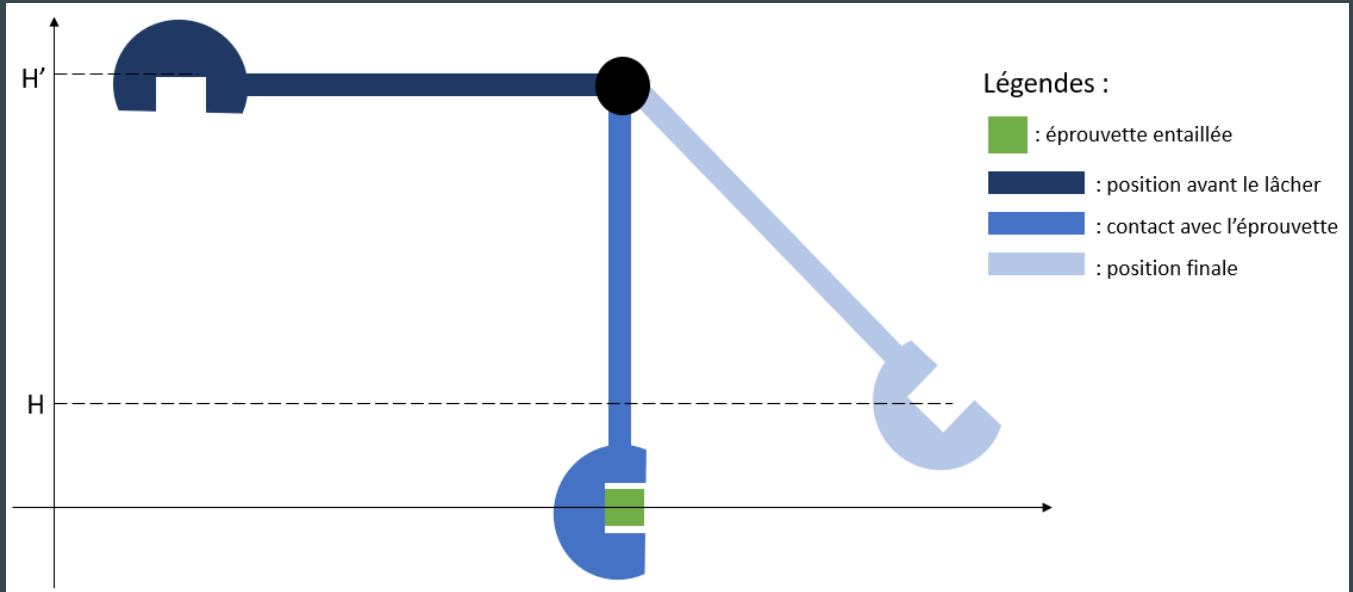


Figure : principe de fonctionnement de test de Charpy

Adaptation à notre cas : détermination de l'angle de rebond

# 2. L'amorti optimum

## 2.2. Test dit de Charpy

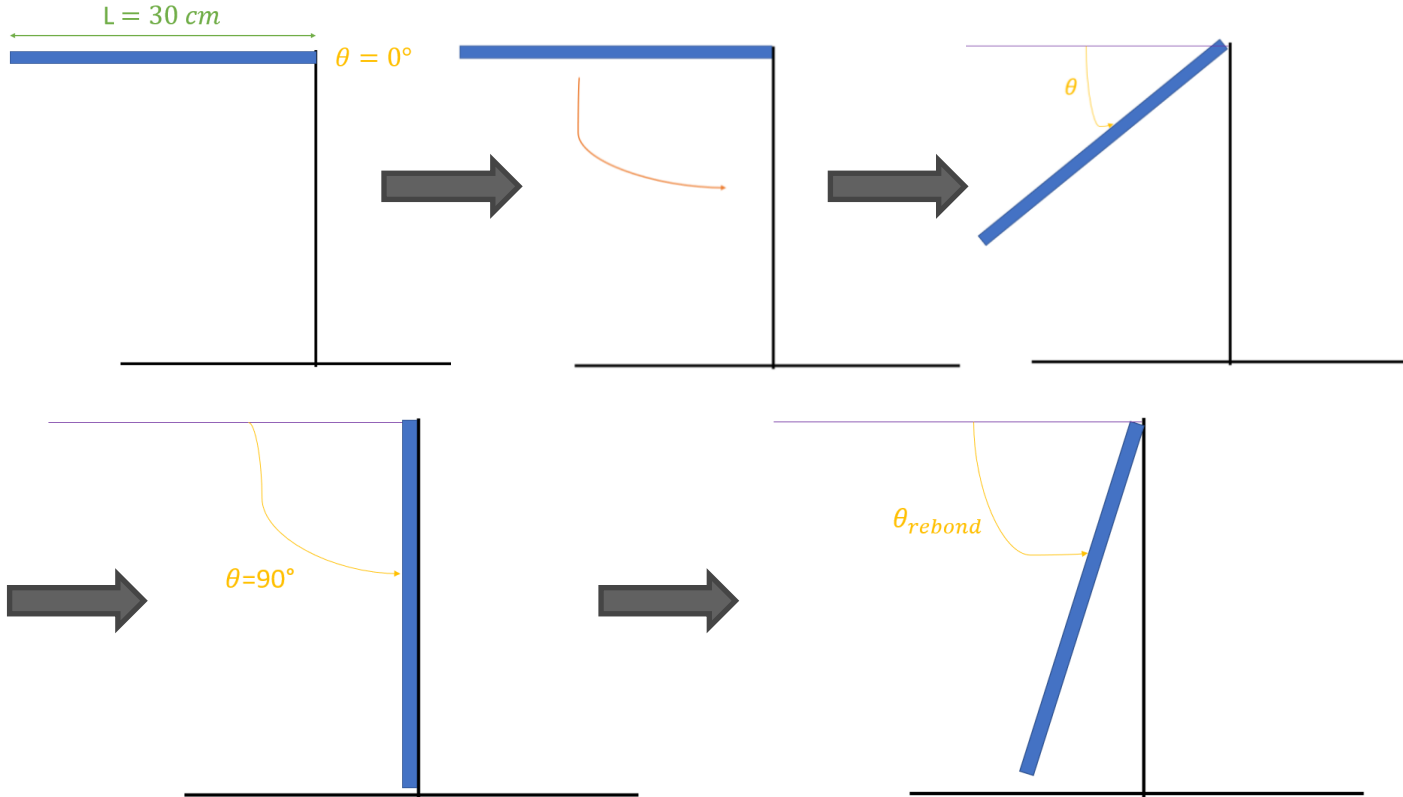


Schéma explicatif du « test de Charpy »

## 2. L'amorti optimum

### 2.2. Test dit de Charpy

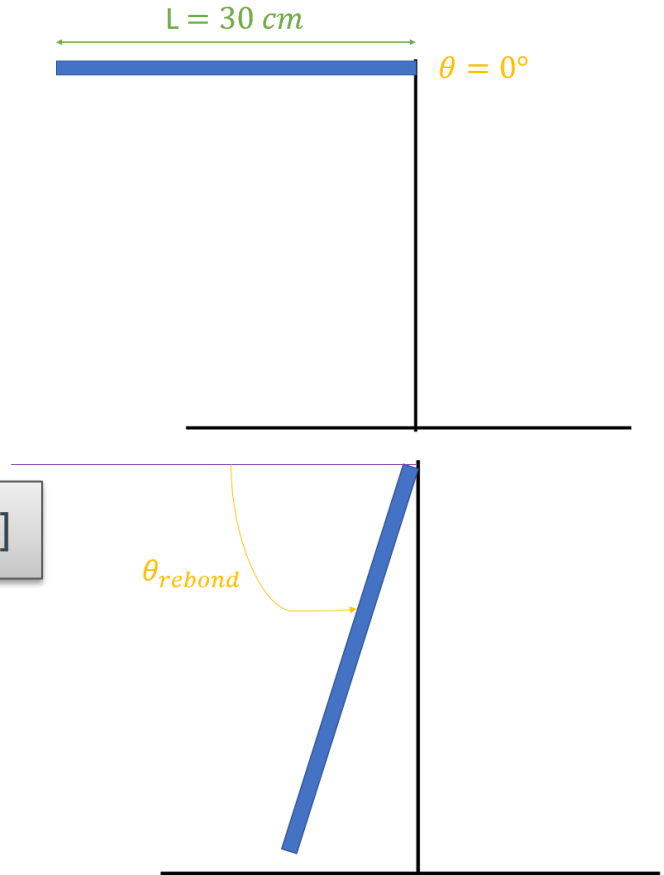
- Calcul de l'énergie absorbée :

$$\Delta\varepsilon = \Delta\varepsilon_p + \Delta\varepsilon_c$$

- On a  $\Delta\varepsilon_c = 0$  donc :

$$\Delta\varepsilon_p = mgl\cos(\theta_0) - mgl\cos(\theta_{rebond})$$

$$\Rightarrow \Delta\varepsilon_p = mgl[\cos(\theta_0) - \cos(\theta_{rebond})]$$



# 2. L'amorti optimum

## 2.2. Test dit de Charpy

Construction de mon propre test de Charpy :



## 2. L'amorti optimum

### 2.2. Test dit de Charpy

Recherche d'un système pour « tenir » le matériau testé





## 2. L'amorti optimum

### 2.2. Test dit de Charpy

#### Mon propre “test de Charpy”



Principe de l'essai :

- Lâcher de la barre
- Choc avec le matériau testé
- Rebond avec un angle caractéristique  $\theta_{rebound}$
- Détermination de l'énergie absorbée par le matériau lors du choc

# 2. L'amorti optimum

## 2.2. Test dit de Charpy

Les différents matériaux éprouvés :

- Gel : échec car impossibilité de le faire tenir dans le système réalisé
- Mousse
- Matériau 3D : Maker shop : polyester semi-cristallin biodégradable utilisé pour imprimer des semelles de chaussures de sport



➔  
Impression 3D



## 2. L'amorti optimum

### 2.2. Test dit de Charpy

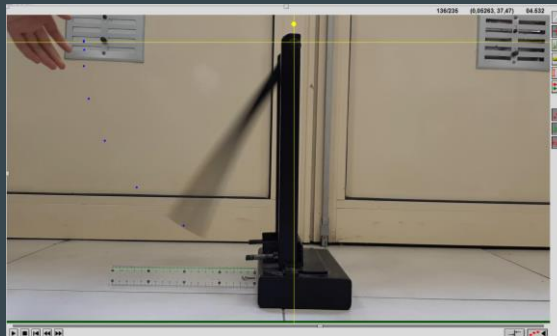
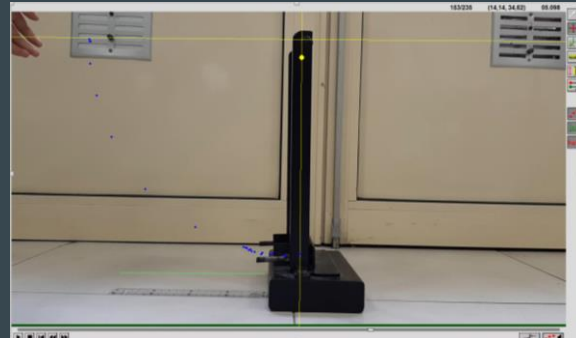
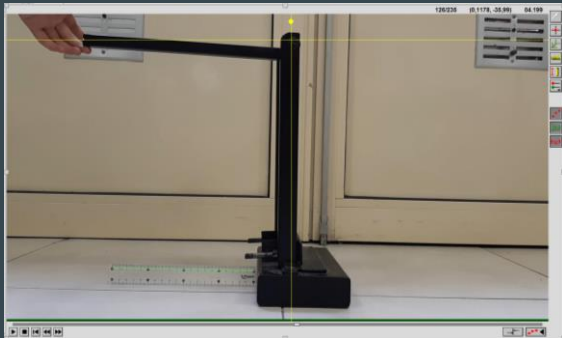
Principe de test :



# 2. L'amorti optimum

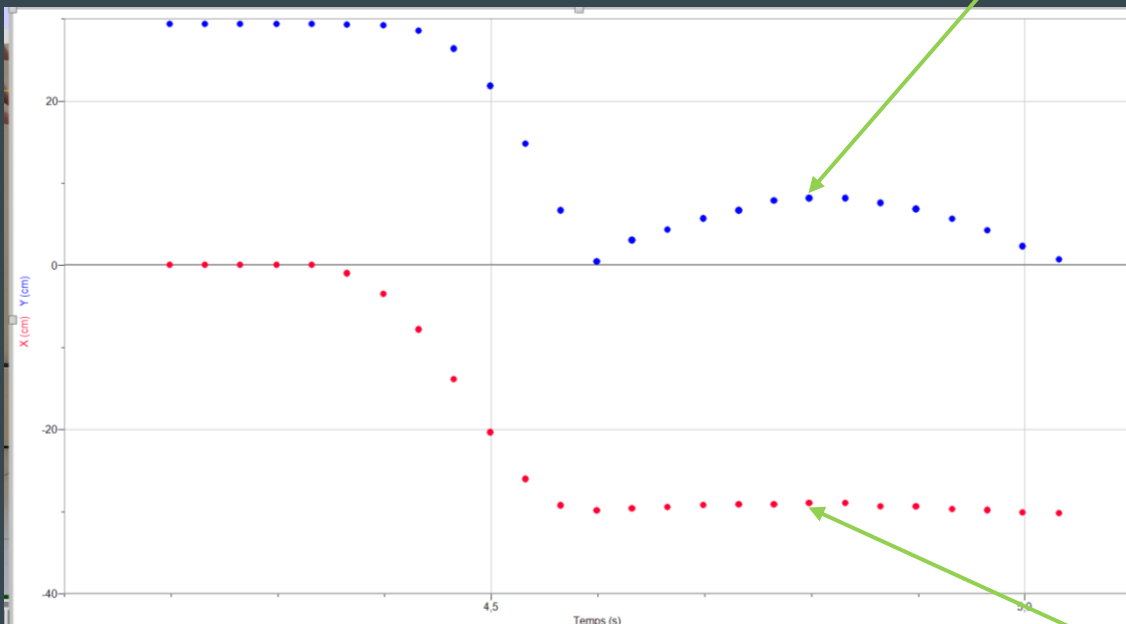
## 2.2. Test dit de Charpy

Acquisition des résultats : Logger pro pour le pointage vidéo



# 2. L'amorti optimum

## 2.2. Test dit de Charpy



Temps (s)	X (cm)	Y (cm)
4,199	0,01251	29,36
4,232	0,01251	29,36
4,265	0,01251	29,36
4,299	0,01251	29,36
4,332	0,01251	29,36
4,365	-0,9873	29,31
4,399	-3,513	29,21
4,432	-7,828	28,57
4,465	-13,88	26,36
4,499	-20,35	21,84
4,532	-26,04	14,79
4,565	-29,25	6,683
4,599	-29,88	0,4736
4,632	-29,61	3,052
4,665	-29,46	4,315
4,699	-29,19	5,683
4,732	-29,14	6,683
4,765	-29,14	7,841
4,798	-28,98	8,157
4,832	-28,98	8,157
4,865	-29,40	7,578
4,898	-29,35	6,841
4,932	-29,72	5,631
4,965	-29,82	4,262
4,998	-30,14	2,315
5,032	-30,19	0,6841

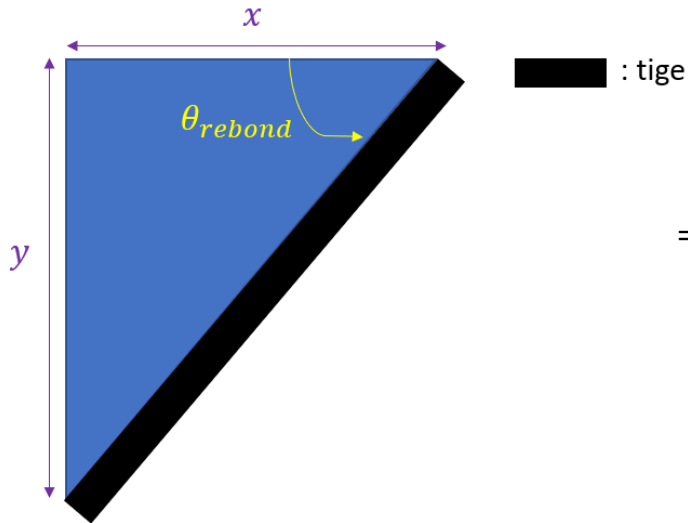
Allure des courbes obtenues sur logger pro

$x_{rebond}$

## 2. L'amorti optimum

### 2.2. Test dit de Charpy

- Détermination de  $\theta_{rebond}$  :



$$\tan(\theta_{rebond}) = \frac{x_{rebond}}{y_{rebond}}$$

$\Rightarrow$

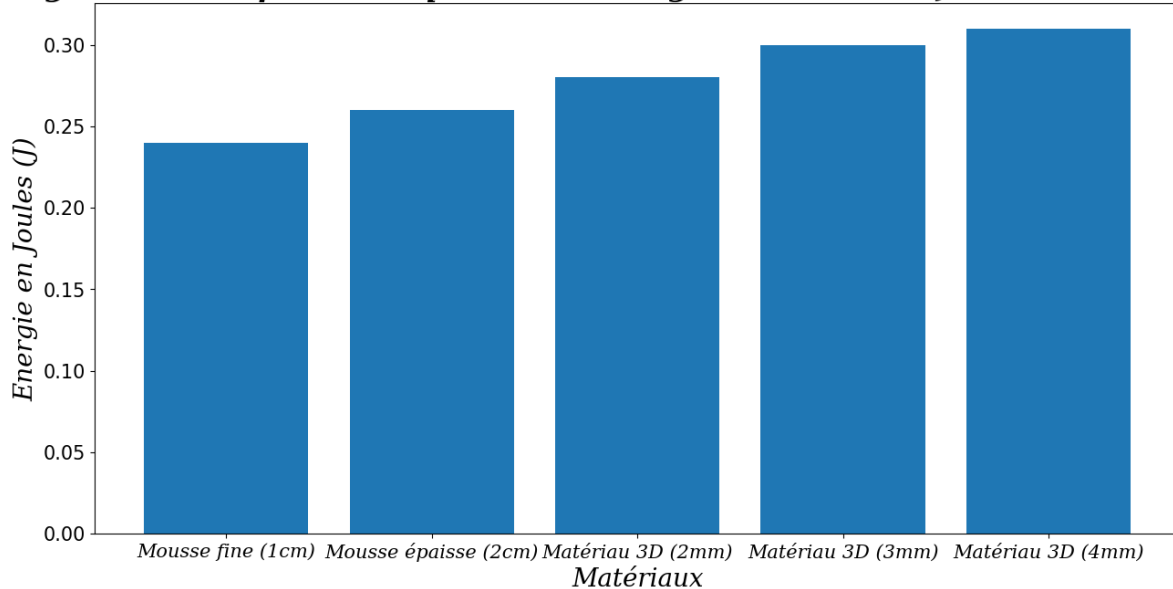
$$\theta_{rebond} = \arctan\left(\frac{x_{rebond}}{y_{rebond}}\right)$$

# 2. L'amorti optimum

## 2.2. Test dit de Charpy

Résultats de l'expérience :

**Diagramme comparant la quantité d'énergie absorbée en fonction du matériau**



Conclusion :

- Meilleur matériau : makershop 3D

# 3. Modélisation mécanique de l'amorti

## 3.1. Comment modéliser le pied ?

- Le modèle de la marche

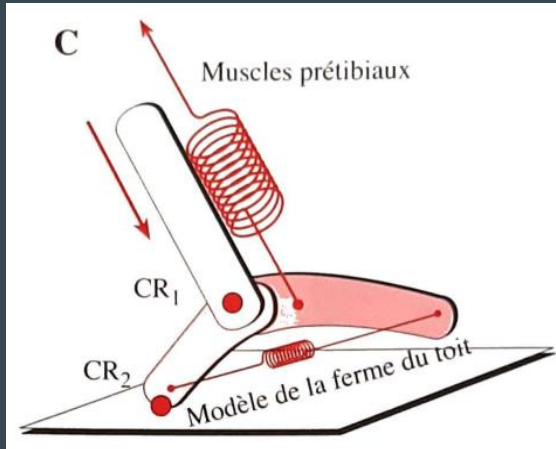


Figure : Modélisation de l'amortissement pour la marche (modèle de la ferme du toit)

- Le modèle de la course

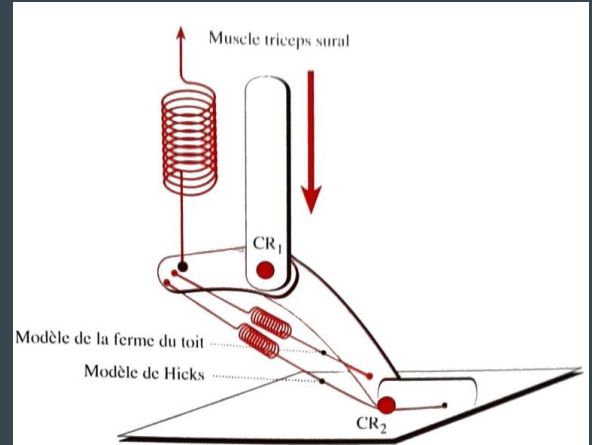


Figure : Modélisation de l'amortissement pour la course à pied (modèle de Hicks)

Source : KLEIN Paul, SOMMERFERLD Peter : Biomécanique des membres inférieurs, Bases et concepts, bassin, membres inférieurs


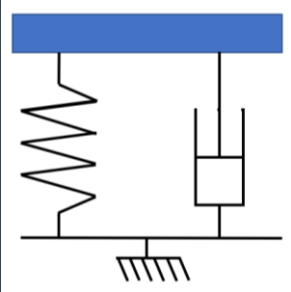
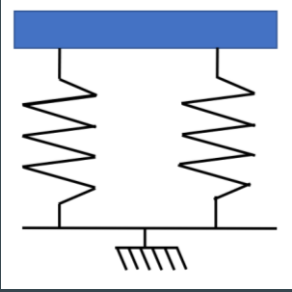


# 3. Modélisation mécanique de l'amorti

## 3. 2. L'amorti de la semelle

Mieux comprendre le rôle de l'amorti

- Les déformations possibles donc la rigidité du matériau permettent d'absorber l'énergie du choc
- Modèles d'amortissement en mécanique :

Un ressort	Un ressort et un élément dissipatif en parallèle	2 ressorts en parallèle
		

# Conclusion :

Mise en évidence de l'intérêt de l'amorti

Critères influençant l'efficacité d'un amorti :  
matériau, épaisseur

**Ouverture :** Influence de la surface d'appui => comment trouver la surface minimale d'appui pour un meilleur amorti ?

# Annexes

# Annexe 1 : programmes tracés courbes de la force exercée au cours du temps

```
import os
import matplotlib.pyplot as plt

##Expérience 1 individu A appui talon
f=open('expeTylanbisappuitalon.txt','r')
L=f.readlines()
X=[]
Y=[]
for ligne in L[1:]:
    x,y=ligne.split("\t")
    X.append(float(x.replace(",","."))) #on adapte la liste pour la rendre compatible avec la lecture Python
    Y.append(float(y.replace(",",".")))
f.close()

plt.plot(X,Y,'+')
plt.plot(X,Y)
plt.title('Graphique de la force exercée par le coureur en fonction du temps (appui talon)', fontsize=23, fontweight='bold',
style='italic', family='serif')
plt.xlabel('Temps en secondes (s)', fontsize=20, style='italic', family='serif')
plt.ylabel('Force en Newton (N)', fontsize=20, style='italic', family='serif')
plt.xlim([2.5,3.4]) #zoom sur le graphique
plt.xticks(fontsize=15)
plt.yticks(fontsize=15)
plt.grid(True)
plt.annotate('1001N', xy=(2.98,1001.89209),
xytext=(3.1,850), #les coordonnées du maximum
arrowprops=dict(facecolor='black', arrowstyle='->'), color='green',fontsize=20,)
plt.show()
```

Utilisation de la même structure de programme pour tous les tracés

## Annexe 2 : calcul de l'impulsion $\Delta p$ (méthode des rectangles)

```
def integrationrectangles2(X,Y):  
    n=len(X)  
    somme = 0  
    for i in range(n-1):  
        somme += Y[i]*(X[i+1]-X[i])  
    return somme
```

Utilisation de la même structure de programme pour les calculs d'impulsion

# Annexe 3 : comparaison des différents matériaux

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

Matériaux = ['Mousse fine (1cm)', 'Mousse épaisse (2cm)', 'Matériau 3D (2mm)', 'Matériau 3D (3mm)', 'Matériau 3D (4mm)']
Energie = [0.24, 0.26, 0.28, 0.30, 0.31]
plt.bar(Matériaux, Energie)
plt.title("Diagramme comparant la quantité d'énergie absorbée en fonction du matériau", fontsize=23, fontweight='bold',
style='italic', family='serif')
plt.xticks(fontsize=15, style='italic', family='serif')
plt.yticks(fontsize=15)
plt.xlabel('Matériaux', fontsize=20, style='italic', family='serif')
plt.ylabel('Energie en Joules (J)', fontsize=20, style='italic', family='serif')

plt.show()
```

# Annexe 4 : calcul énergie absorbée

```
def energieabsorbée(x,y):
    return 0.424*(m.cos(0)-m.cos(m.atan(x/y)))
```