



# TIPE

**IMPORTANCE DU REVÊTEMENT DANS LA PRATIQUE DE LA COURSE À PIED**

**ESNAULT Mathilde - n° 25414**



# PLAN

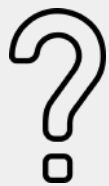


- 1** INTRODUCTION
- 2** EXPÉRIENCE 1
- 3** EXPÉRIENCE 2
- 4** CONCLUSION

# LE SUJET



Importance du revêtement dans la pratique de la course à pied.



Quel est le meilleur revêtement pour pratiquer la course à pied ?



# LES REVÊTEMENTS



Le gazon



Le goudron



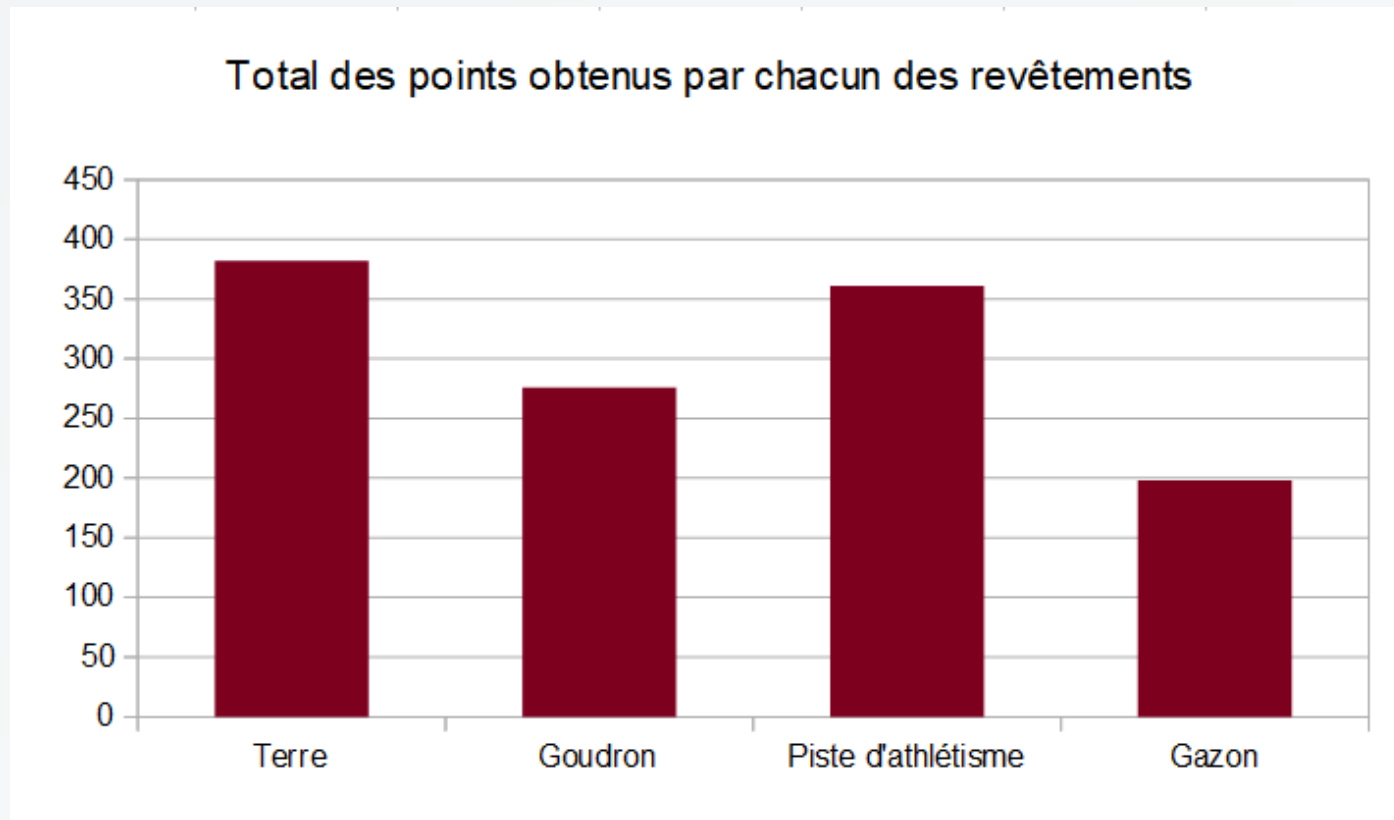
La terre



Piste  
d'athlétisme

# SONDAGE

Attribution de 1 à 5 points à chaque sol en fonction de leur confort pour la course



90 participants

# QUELS FACTEURS ?

réduit l'impact sur les articulations et les muscles

**AMORTISSEMENT**

un sol stable et régulier limite les risques de torsions et de blessures

**STABILITÉ**

une surface fournissant un bon retour d'énergie est appréciée pour une recherche de performance

**RÉACTIVITÉ**

réduit le risque de chute et augmente l'efficacité de la propulsion

**ADHÉRENCE**



# PREMIÈRE EXPÉRIENCE

Objectif : mesurer l'énergie dissipée dans le sol lors d'une foulée.

# PROTOCOLE

## ETAPE 1

Lâché d'une masse sans vitesse initiale d'une hauteur  $h$ .

## ETAPE 2

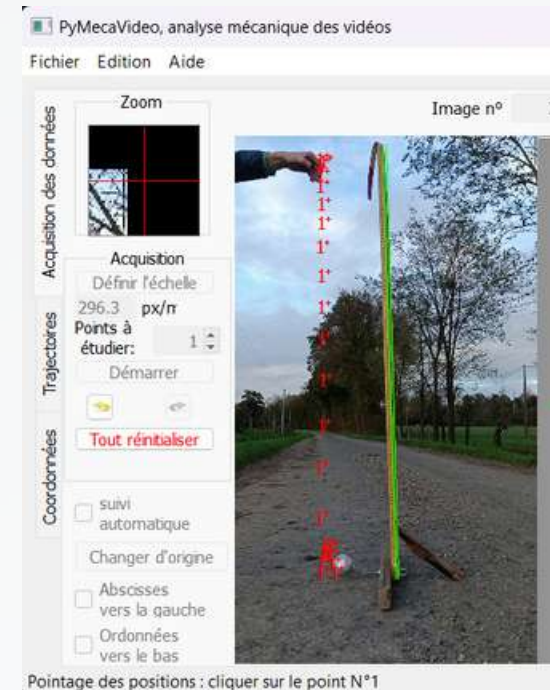
Capture de la trajectoire avec caméra.

## ETAPE 3

Analyse numérique de la trajectoire.

## ETAPE 4

Calcul du coefficient de pertes.





# THÉORIE



Système : masse

Référentiel terrestre supposé galiléen

Bilan d'énergie :

$$E_{m,0} = mgh_0$$

Soit  $\mu$  le coefficient de perte tel que

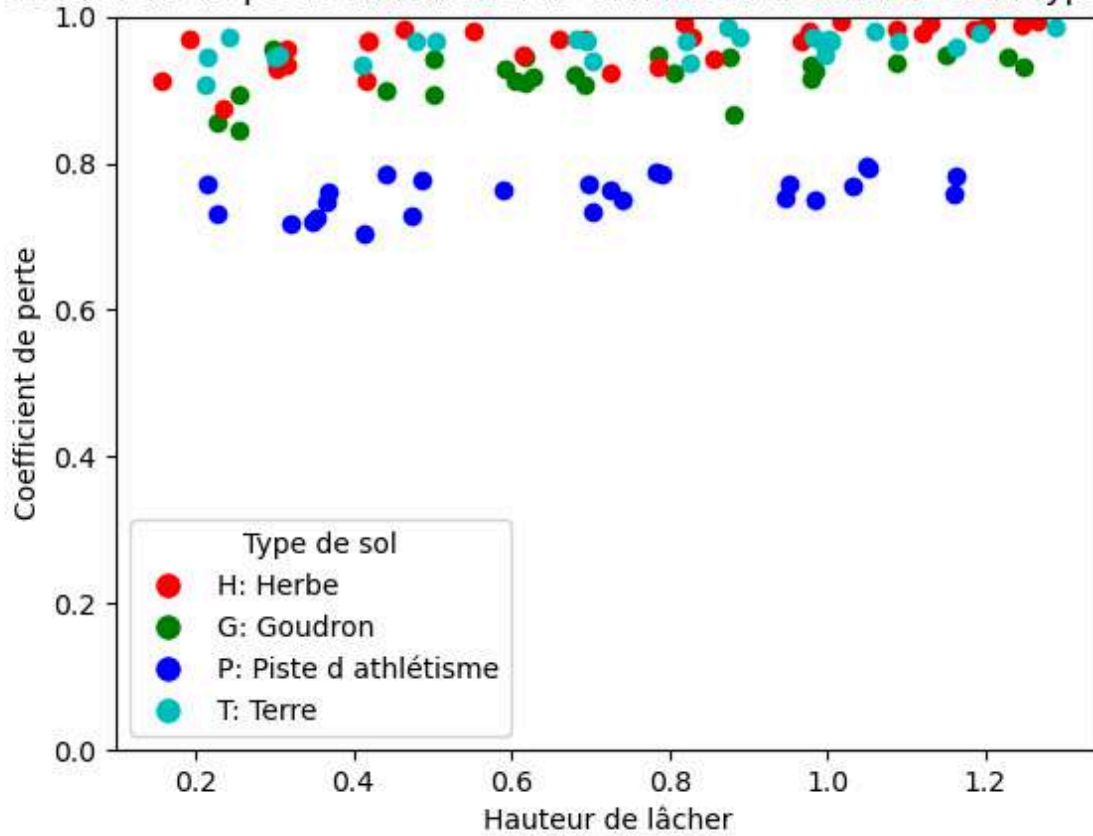
$$E_{m,1} = E_{m,0}(1 - \mu)$$

Or  $E_{m,1} = mgh_1$

$$\mu = 1 - \frac{h_1}{h_0}$$

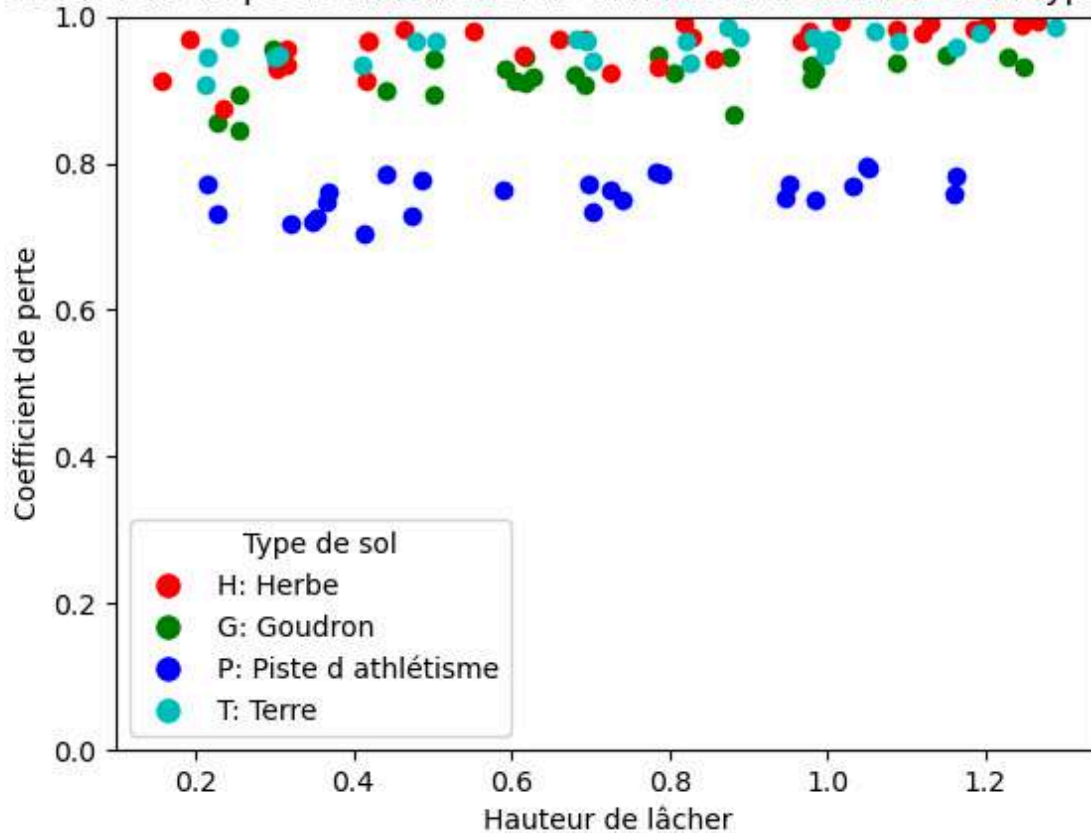
# RÉSULTAT

Coefficient de perte en fonction de la hauteur de lâcher et du type de sol



# RÉSULTAT

Coefficient de perte en fonction de la hauteur de lâcher et du type de sol



$$\mu_{herbe} = 0,96 \pm 0,03$$

$$\mu_{goudron} = 0,92 \pm 0,03$$

$$\mu_{terre} = 0,96 \pm 0,02$$

$$\mu_{piste} = 0,76 \pm 0,03$$

# SOURCES D'INCERTITUDE

$$\mu_{herbe} = 0,96 \pm 0,03$$

- variation dans la façon de lâcher la masse,

$$\mu_{goudron} = 0,92 \pm 0,03$$

- variation des conditions extérieures (vent),

$$\mu_{terre} = 0,96 \pm 0,02$$

- lors du pointage : manque de précision dans le marquage des positions.

$$\mu_{piste} = 0,76 \pm 0,03$$

# COMPARAISON AVEC LE SONDAGE

En considérant que le sol le plus agréable est celui restituant le mieux l'énergie :

Expérience 1 :

1. Piste d'athlétisme
2. Goudron
3. Terre
3. Herbe

Sondage :

1. Terre
2. Piste d'athlétisme
3. Goudron
4. Herbe

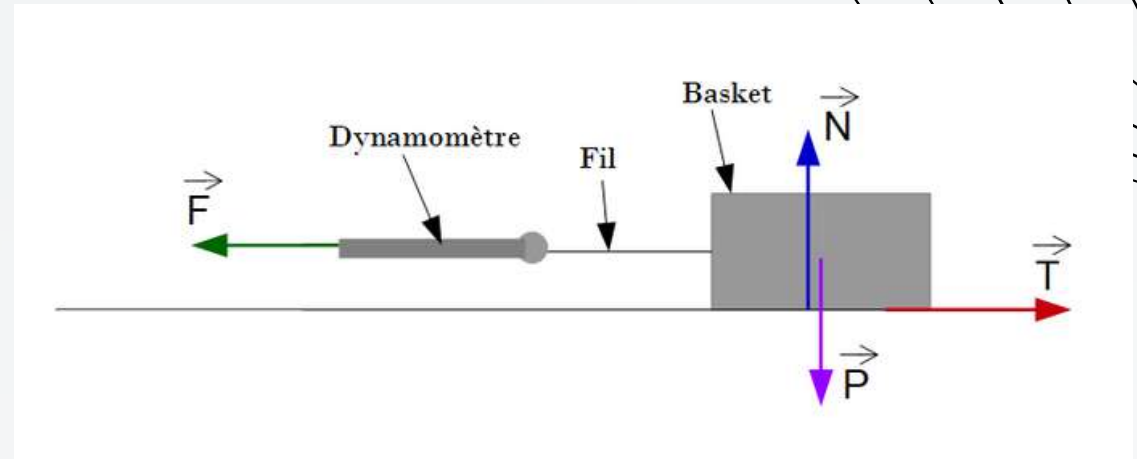
Différences car d'autres facteurs entrent en jeu.



# DEUXIÈME EXPÉRIENCE

Objectif : comparer l'adhérence des revêtements.

# PROTOCOLE



Dynamomètre  
fixé sur la  
chaussure,  
horizontalement  
sur la surface à  
étudier.

ETAPE 1

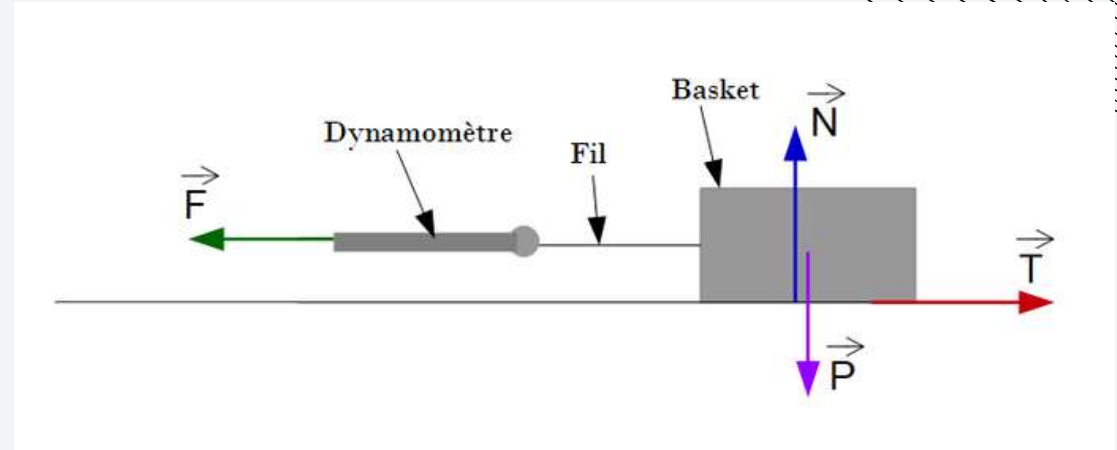
En filmant,  
l'opérateur tire le  
dynamomètre à  
vitesse constante.

ETAPE 2

Relevé de  $F$  sur le  
dynamomètre en  
fonction du  
temps.

ETAPE 3

# THÉORIE



*Bilan des forces :*

- poids  $\vec{P}$
- réaction du sol  $\vec{R} = \vec{N} + \vec{T}$
- force du manipulateur  $\vec{F}$

*Principe fondamental de la dynamique :*

- $T = -F$
- $N = -P$

*Soit  $f_s$  le coefficient de frottement statique et  $f_d$  le coefficient de frottement dynamique.*

*Première loi de Coulomb :*

*En l'absence de glissement :  $T < f_s N$*

*Seconde loi de Coulomb :*

*En présence de glissement  $\vec{T} = f_d N$*



# ÉTAPE 2





# ÉTAPE 2





# ÉTAPE 2



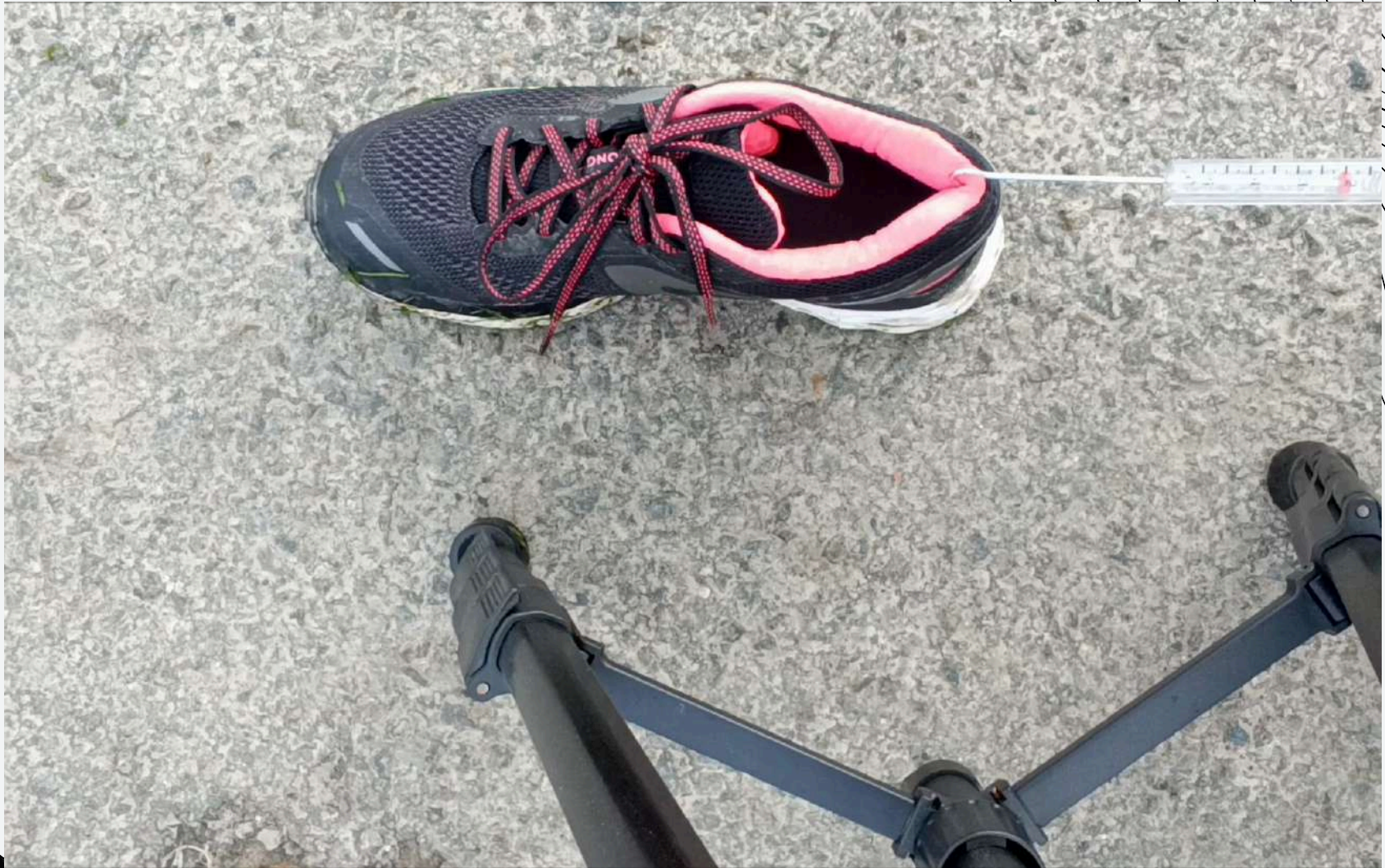


# ÉTAPE 2



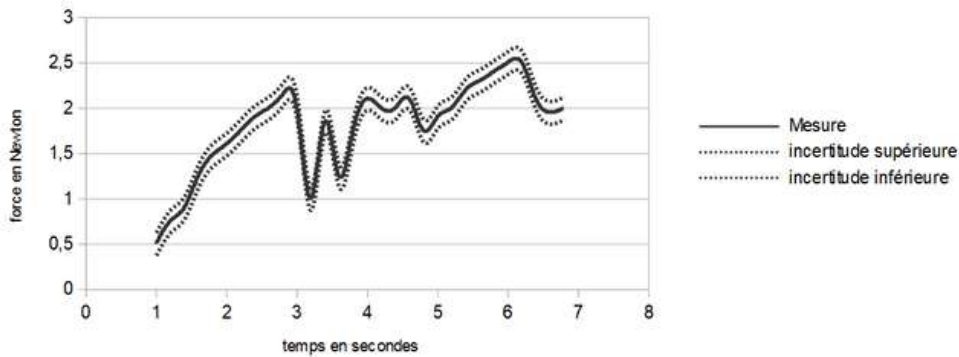


# ÉTAPE 2

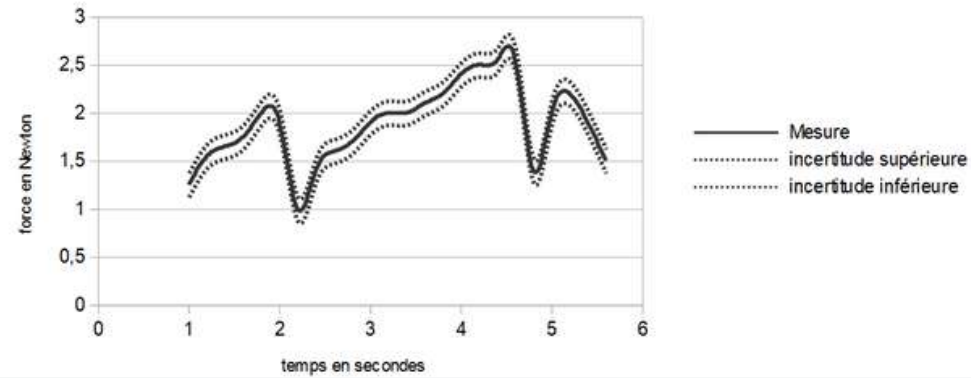


# RÉSULTATS

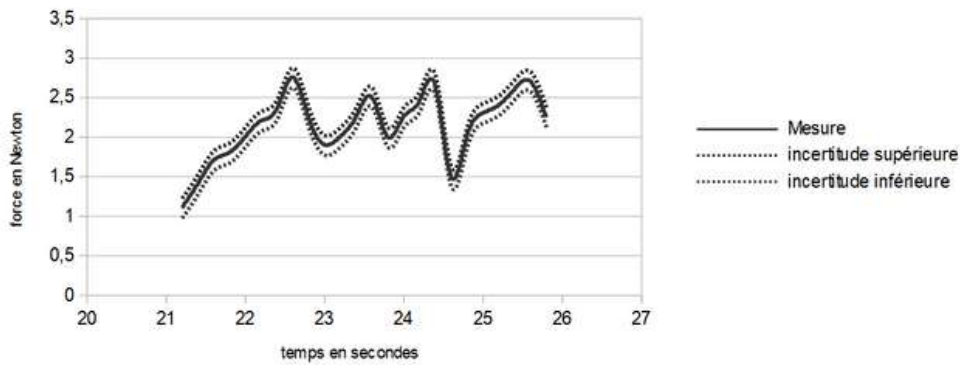
Piste



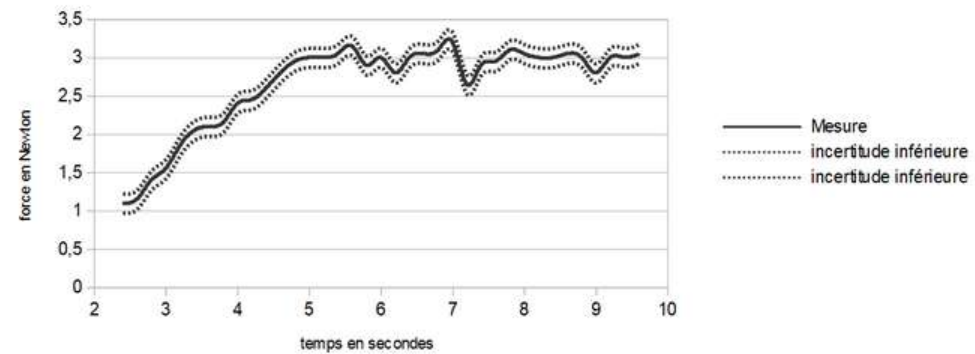
Terre



Goudron



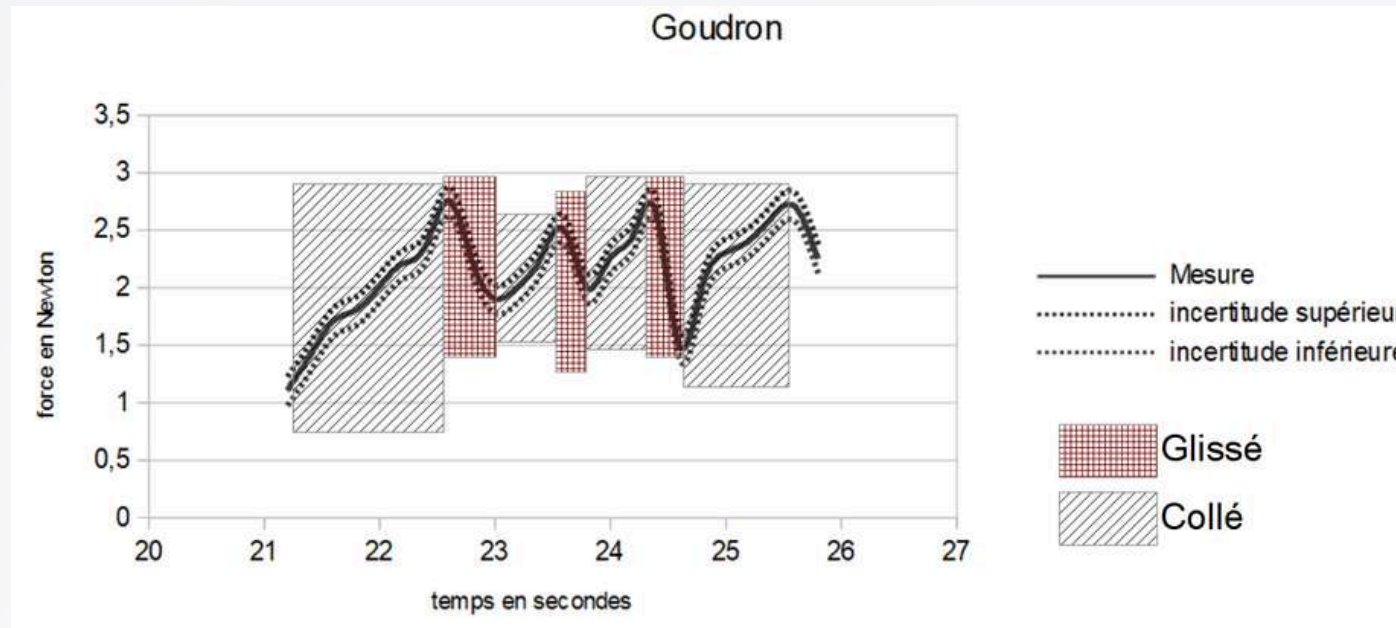
Herbe



# OBSERVATION

phénomène : "stick-slip"

Succession de phases "collées" et "glissées".



Explication physique : différence entre le coefficient de frottement statique et le coefficient de frottement dynamique.



# RÉSULTATS

$$f_s = \frac{F}{mg}$$

donc

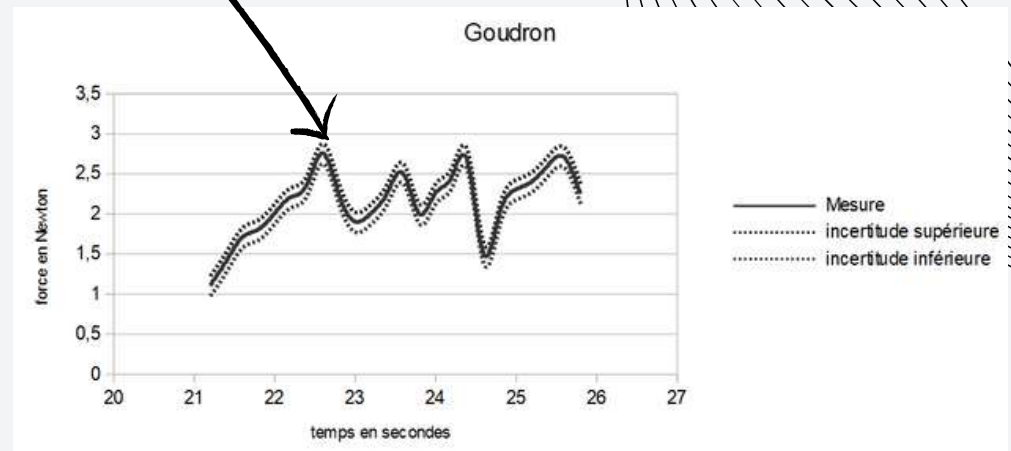
$$f_{s,herbe} = 1,15 \pm 0,05$$

$$f_{s,goudron} = 1,00 \pm 0,05$$

$$f_{s,piste} = 0,78 \pm 0,05$$

$$f_{s,terre} = 0,73 \pm 0,05$$

Glissement



masse de la chaussure :  $m = 280,5\text{g} \pm 0,5\text{g}$



# RÉSULTATS

$$f_d = \frac{\langle F \rangle}{mg}$$

donc

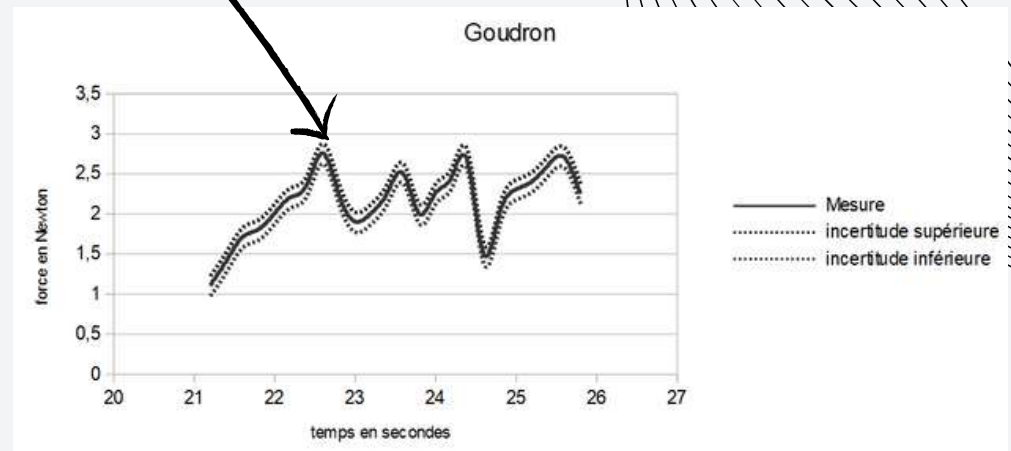
$$f_{d,herbe} = 1,08 \pm 0,03$$

$$f_{d,goudron} = 0,82 \pm 0,05$$

$$f_{d,piste} = 0,68 \pm 0,09$$

$$f_{d,terre} = 0,64 \pm 0,07$$

Glissement



masse de la chaussure :  $m = 280,5\text{g} \pm 0,5\text{g}$

# RÉSULTATS

$$f_{s,herbe} = 1,15 \pm 0,05$$

$$f_{s,goudron} = 1,00 \pm 0,05$$

$$f_{s,piste} = 0,78 \pm 0,05$$

$$f_{s,terre} = 0,73 \pm 0,05$$

$$f_{d,herbe} = 1,08 \pm 0,03$$

$$f_{d,goudron} = 0,82 \pm 0,05$$

$$f_{d,piste} = 0,68 \pm 0,09$$

$$f_{d,terre} = 0,64 \pm 0,07$$

Plus  $f_s$  est élevé, plus l'adhérence est forte.

Si  $f_s$  similaires, on départage avec  $f_d$ .

Le meilleur

1.Herbe

2.Goudron

3.Piste

3.Terre

Le pire

# SOURCES D'INCERTITUDE

- erreur humaine lors de la manipulation : difficulté à maintenir un déplacement constant,
- irrégularités du sol,
- erreur humaine lors de la lecture des valeurs.

# COMPARAISON AVEC LE SONDAGE

En considérant que le meilleur sol est celui avec la plus grande adhérence :

Expérience 2 :

1. Herbe
2. Goudron
3. Piste
3. Terre

Sondage :

1. Terre
2. Piste d'athlétisme
3. Goudron
4. Herbe

Le moyen de classement n'est pas optimal : on ne prend pas en compte les différences entre  $f_s$  et  $f_d$  .

L'expérience ne prend en compte l'adhérence que sur sols secs.

# CONCLUSION

## Expérience 1 :

1. Piste d'athlétisme
2. Goudron
3. Terre
3. Herbe

## Expérience 2 :

1. Herbe
2. Goudron
3. Piste
3. Terre

## Sondage :

1. Terre
2. Piste d'athlétisme
3. Goudron
4. Herbe

- Au global, le goudron et la piste sont les meilleurs revêtements
- Résultats étonnants pour la terre et l'herbe.

### Causes possibles :

- impact d'un sol très dur sur les articulations pas pris en compte,
- une adhérence très élevée peut augmenter l'énergie à fournir,
- les coureurs amateurs pratiquent peu la course sur piste synthétique et le cadre est plus agréable pour la terre

# OUVERTURE

Une expérience permettant d'évaluer l'impact de la dureté des revêtements sur les tissus du corps humain pourrait affiner les résultats obtenus durant mon TIPE.

On pourrait aussi analyser l'évolution du comportement des revêtements dans différentes conditions extérieurs (temps humide, pluie).

# ANNEXE

## Incertitudes

### Expérience 1:

- grand nombre de valeurs
- permet de négliger les erreurs aléatoires

→ incertitude de type A

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum (\text{moy}(\mu) - \mu_k)^2$$

### Expérience 2:

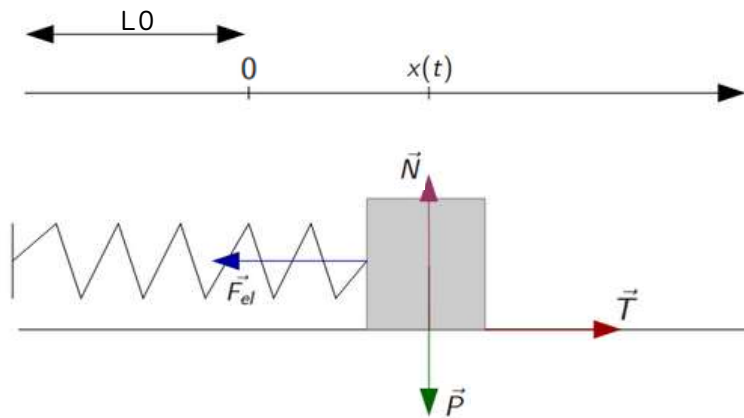
- une seule répétition
- impossible de négliger les sources d'erreurs

→ incertitude de type B

$$\Delta f_s = f_s \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2}$$

# ANNEXE

Détermination de  $f_s$  et  $f_d$  à partir de la mesure de la force de traction :



Bilan des forces :

- Force de rappel élastique  $\vec{F}_{el} = -kx(t)\vec{e}_x$
- Poids  $\vec{P} = m\vec{g}$
- Réaction du support  $\vec{R} = \vec{N} + \vec{T}$

Principe fondamental de la dynamique :

- $\vec{P} + \vec{T} + \vec{N} + \vec{F}_{el} = 0$   
donc  $N = mg$  et  $T = kx(t)$
- Tant qu'il n'y a pas glissement,  $kx(t) \leq f_s mg$   
donc

$$f_s = \frac{kx_{max}}{mg} = \frac{F_{el,max}}{mg}$$

Quand la masse commence à glisser,  $\ddot{x} \neq 0$  et  $T = f_d N$

- Donc  $m\ddot{x} = f_d mg - kx(t)$

En posant  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  et  $x_{eq} = \frac{mgf_d}{k}$ , on a

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \omega_0^2 x_{eq}$$

Solution de la forme

$$x(t) = A\cos(\omega_0 t) + B\sin(\omega_0 t) + x_{eq} \text{ où } A, B \in \mathbb{R}$$

$$\text{donc } \langle \|\vec{F}_{el}\| \rangle = k \langle x(t) \rangle = kx_{eq} = mgf_d$$

Ainsi

$$f_d = \frac{\langle \|\vec{F}_{el}\| \rangle}{mg}$$