



**centre de  
développement  
pédagogique**  
*pour la formation générale  
en science et technologie*

*Document de travail*

## LES EXPERTS



CAHIER DE L'ÉLÈVE

Février 2009

## Table des matières

Il était une fois un crime crapuleux!.....	3
Réchauffons-nous un peu .....	5
Connaissez-vous M. Hooke? .....	8
Énergie emmagasinée par un ressort .....	13
Démonstration mathématique .....	13
Application expérimentale dirigée .....	16
Revenons maintenant au crime crapuleux.....	22
Cerner le mandat à la suite des activités d'apprentissage .....	24
Caractériser l'arme du crime .....	25
Énergie cinétique de la bille (sans la friction de l'air) .....	29
Théorie sur le cristal piézoélectrique .....	32
Étalonnage du transducteur .....	33
Modélisation de la friction de l'air sur la bille.....	39
Énergie cinétique de la bille (avec la friction de l'air).....	43
Intégration et réinvestissement.....	44

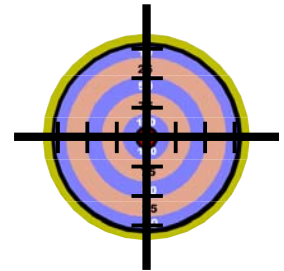
# Il était une fois un crime crapuleux!

**NOTE** Cette activité a été élaborée dans le cadre de sessions de formation. Elle nécessite des adaptations avant de l'utiliser auprès d'élèves.

## Le soir du crime



C'était pourtant une belle journée d'été. Le soleil venait à peine de se lever et la brume s'évaporait lentement. La nuit avait été chaude et j'étais sur le point de terminer mon quart de garde. Soudain, mon portable sonne! C'est mon sergent, il a de mauvaises nouvelles pour moi. Je ne rentrerai pas de sitôt à la maison. Il y a eu un crime au centre ville. Un homme d'affaire a reçu un projectile en plein visage au moment où il fumait sur le balcon de son bureau. Pauvre homme, avoir su, il n'aurait pas fumé. Une cigarette dans le noir, ça fait une très belle cible...



Me voici sur le lieu du crime. À ma grande surprise, le balcon est beaucoup plus «propre» que je ne l'anticipais. «Sergent, il n'y a pas de sang???» «Non, mon lieutenant, le pauvre en est quitte pour une bonne commotion cérébrale.» L'homme n'avait pas reçu une balle d'arme à feu, mais plutôt une grosse bille à jouer.



«Mon lieutenant, le médecin dit que l'homme a quand même eu de la chance. Il aurait pu facilement en mourir si la bille avait percuté la tempe.» L'homme avait en effet une bonne fracture au crâne, la vitesse de la bille devait être assez grande.

## Lors de la réunion au poste quelques heures plus tard

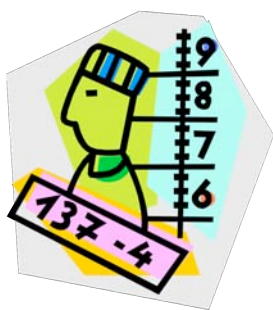
«Mon lieutenant, voici les informations dont nous disposons! Il va falloir faire avec...»

1. La bille a été lancée de l'immeuble juste en face, l'impact sur le crâne ne laisse aucun doute. Pourtant ce n'est pas un immeuble ordinaire, la sécurité y est impressionnante. On y fait de la recherche de pointe, il y a même des détecteurs de métal à l'entrée. Ce n'est pas surprenant que notre tueur ait utilisé une bille de verre. Une arme à feu conventionnelle n'y serait pas passée.
2. Le médecin de la criminelle nous dit, également, qu'avec la profondeur du «cratère» laissé sur le crâne de la victime, il sera possible d'évaluer très

précisément l'énergie qu'avait le projectile lors de l'impact. Nous devrions recevoir son rapport sous peu.

3. Nous avons retrouvé l'arme du crime. Elle se trouvait dans une poubelle, au rez-de-chaussée de l'immeuble en question. Ingénieux comme système! Cette arme est actionnée par un système à ressort. Nous irons au laboratoire tout à l'heure, ils sont en train d'étudier son mécanisme.
4. Aucune empreinte n'a été retrouvée sur l'arme du crime. Mais grâce aux caméras de surveillance nous avons trois suspects. Une de ces trois personnes peut avoir perpétré ce méfait :
  - a. Une agente de sécurité est entrée à 2h14 du matin dans le local 331 lors de sa ronde.
  - b. Une femme de ménage est entrée à 2h19 du matin dans le local 433 avec son chariot.
  - c. Un plombier est entré à 2h26 du matin dans le local 435 avec son coffre d'outils.

5. Finalement, la bâtisse, où a eu lieu le crime, est vraiment spéciale, elle a été construite dans les années soixante. Je ne peux pas dire que ce design me fait craquer, mais enfin... Aux étages pairs, les fenêtres sont minuscules, en fait, on peut parler de lucarnes. De plus, selon le physicien du laboratoire, c'est là notre chance. Selon lui, on peut coincer le ou la coupable en calculant et en simulant le tout au laboratoire. Ils sont impressionnants ces scientifiques!



«Bon, c'est parfait et très prometteur. Sergent, est-ce que je peux compter sur vous pour suivre l'évolution du travail fait au labo?» «Absolument mon lieutenant, j'y vais de ce pas. On va la coincer cette crapule!»

## Réchauffons-nous un peu

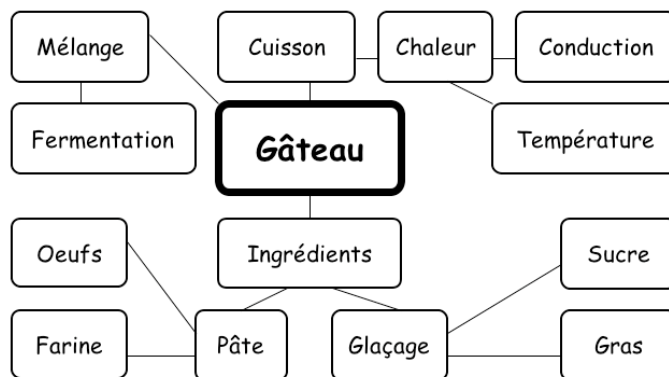


En quatrième secondaire, vous avez eu l'occasion d'étudier les concepts de travail, d'énergie potentielle gravitationnelle et d'énergie cinétique. Vous avez aussi vu que l'énergie peut passer d'une forme à une autre et qu'il y a conservation de l'énergie dans un système isolé. Voici donc une section qui vous permettra de rafraîchir votre mémoire avant d'aborder de nouveaux concepts qui vous aideront à trouver le coupable du crime.

Pour débuter, construisez un réseau des concepts reliés à l'étude des transformations de l'énergie. Bâtir ce réseau vous permettra d'organiser vos connaissances sous forme d'une carte visuelle. Cette carte vous donnera une bonne idée des stratégies qui vous permettront de résoudre l'énigme.

Banque de mots : conservation d'énergie, travail, force efficace, énergie potentielle gravitationnelle, énergie cinétique

### Exemple d'un réseau de concepts



### Réseau de concepts

**Transformations  
de l'énergie**

## Vérifions si vous vous souvenez...

### Question 1

Calculer l'énergie cinétique d'un humain de 70,0 kg avançant à une vitesse de 3,00 m/s.

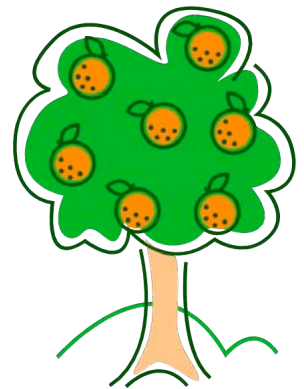
---

---

---

### Question 2

Calculer l'énergie potentielle gravitationnelle d'un pamplemousse de 500,0 g accroché à sa branche à une hauteur de 7,00 m du sol.



---

---

---

---

### Question 3

Calculer le travail fait par un chariot élévateur qui pousse une caisse en déployant une force de 500,0 Newtons sur une distance de 300,0 cm.



---

---

---

---

**Question 4**

Supposons que nous soyons dans un monde parfait où il n'y a pas de friction d'aucune sorte. Supposons aussi qu'un humain est au repos en haut d'une pente de ski ayant un dénivelé de 50,0 mètres. Quelle vitesse atteindra l'humain en bas de la pente s'il descend sans freinage?



---

---

---

---

---

**Question 5**

Supposons que nous soyons encore dans le même monde parfait. Supposons aussi qu'une balle de 3 grammes de carabine voyage à une vitesse de 330 m/s. À quelle profondeur s'immobilisera la balle, si une force opposée au mouvement de 1633 N ralenti celle-ci lorsqu'elle s'enfonce dans le bois ?



---

---

---

---

---

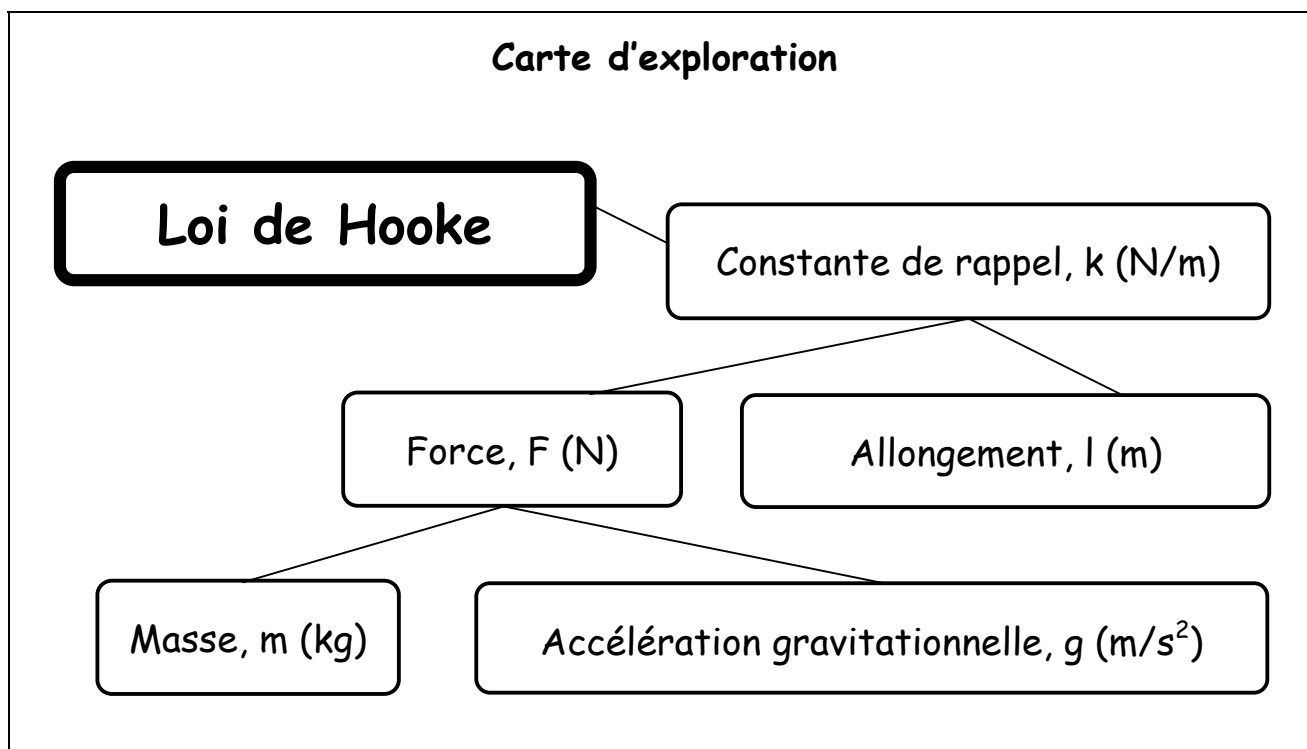
## Connaissez-vous M. Hooke?



Il est maintenant temps de faire de nouveaux apprentissages. Débutons le tout par l'étude de la loi de Hooke<sup>1</sup> qui décrit le comportement des solides soumis à une déformation élastique. La démarche qui suit vous amènera à répondre aux questions suivantes.

Questions : De quelle façon varie la force d'un ressort hélicoïdal de traction lorsqu'on fait varier son allongement? Quelle sorte de courbe peut-on tracer expérimentalement? Quelle relation mathématique unit ces deux grandeurs physiques? Que représente ici le taux de variation?

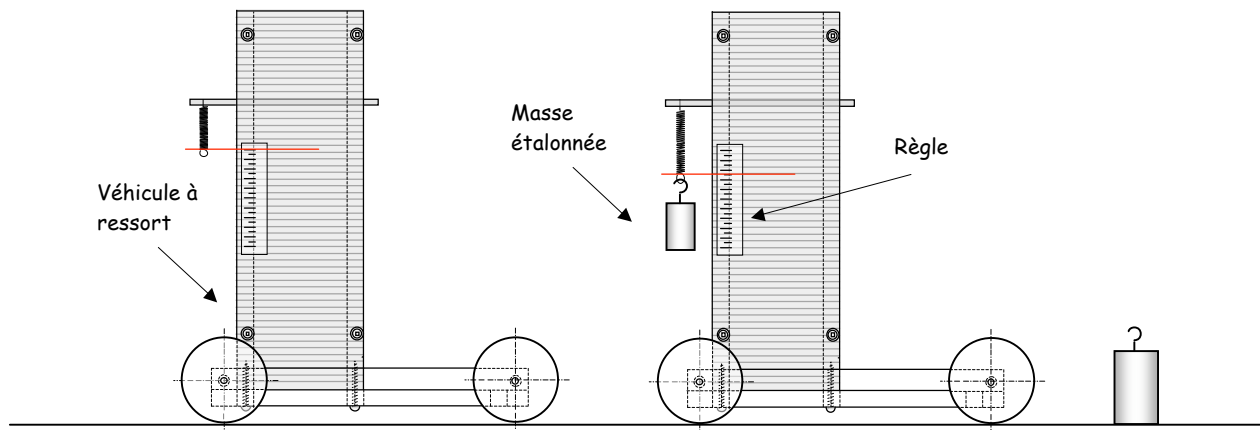
Prouver expérimentalement.



<sup>1</sup> Scientifique anglais, Robert Hooke, (1635-1703)



## Schéma du montage



## Matériel

- 1 véhicule à ressort (que nous utiliserons plus tard)
- 1 règle graduée au millimètre près
- 1 ressort hélicoïdal de traction (qui propulsera le petit véhicule)
- 1 ensemble de masses étalonnées pour balance

## Équation utile

$F_g = m \cdot g$  où  $F_g \Rightarrow$  force en N (newton),  $m \Rightarrow$  masse en kg,  $g \Rightarrow$  accélération gravitationnelle  $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$  ou N/kg

## Manipulations

1. Coller la règle de façon à ce que la base du ressort soit parfaitement alignée avec le zéro de la règle (voir le schéma de droite).
2. Suspendre une masse de 100 g à l'extrémité libre du ressort.
3. Mesurer l'allongement du ressort et noter la valeur dans le tableau de données.
4. Répéter les manipulations 2 et 3 pour des masses de 200, 300, 400 et 500 g.

## Laboratoire dirigé

*En une phrase, résumez votre but :*

---

---

*En une phrase, formulez votre hypothèse :*

---

---

*Nommer quelques facteurs constants lors de cette expérimentation :*

---

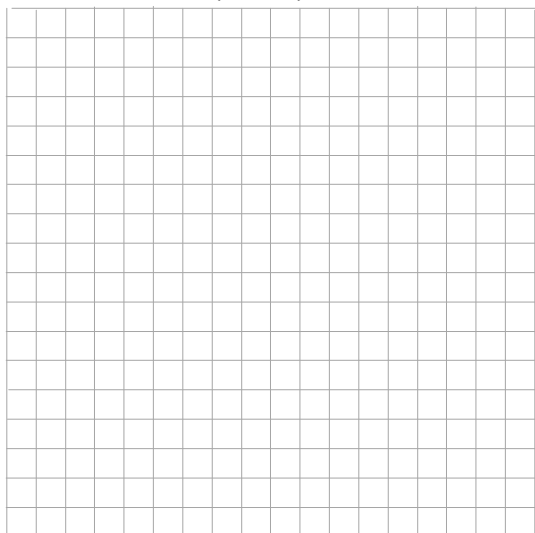
---

*Résumez votre protocole sous forme d'un diagramme.*

Tableau de données		
#	Masse (g)	Allongement (cm) $\pm 0,1$ cm
1	0	0
2	100	
3	200	
4	300	
5	400	
6	500	

Analyser les résultats		
<i>Traitez vos données.</i>		
<b>Question 1</b>		
Convertir les allongements en mètre et indiquer vos résultats dans le tableau ci-dessous.		
<b>Question 2</b>		
Calculer les forces appliquées sur le ressort à partir des différentes masses suspendues et indiquer vos résultats dans le tableau ci-dessous.		
Tableau des résultats		
#	Force (N)	Allongement (m) $\pm 0,001$ m
1	0	0
2		
3		
4		
5		
6		

Traitez vos données (suite).



Faites ressortir les tendances.

**Question 3**

En traçant le graphique de la force en fonction de l'allongement, quel genre de relation mathématique retrouvez-vous?

---

---

---

**Question 4**

Calculer le taux de variation de cette relation.

---

---

Tirez vos conclusions

**Question 5**

Dans le contexte de la loi de Hooke, ce taux de variation se nomme constante de rappel du ressort ( $k$ ). De plus, il est à noter que la droite passe près de l'origine. En effet, lorsque le ressort est au repos, il ne génère pas de force. L'équation de la droite devrait donc prendre la forme suivante :  $F = k \cdot l$  (où  $l$  est l'allongement du ressort). **Calculer la force engendrée par un ressort ayant une constante de rappel de 150 N/m et qui est étiré de 30,0 cm.**

---

---

---

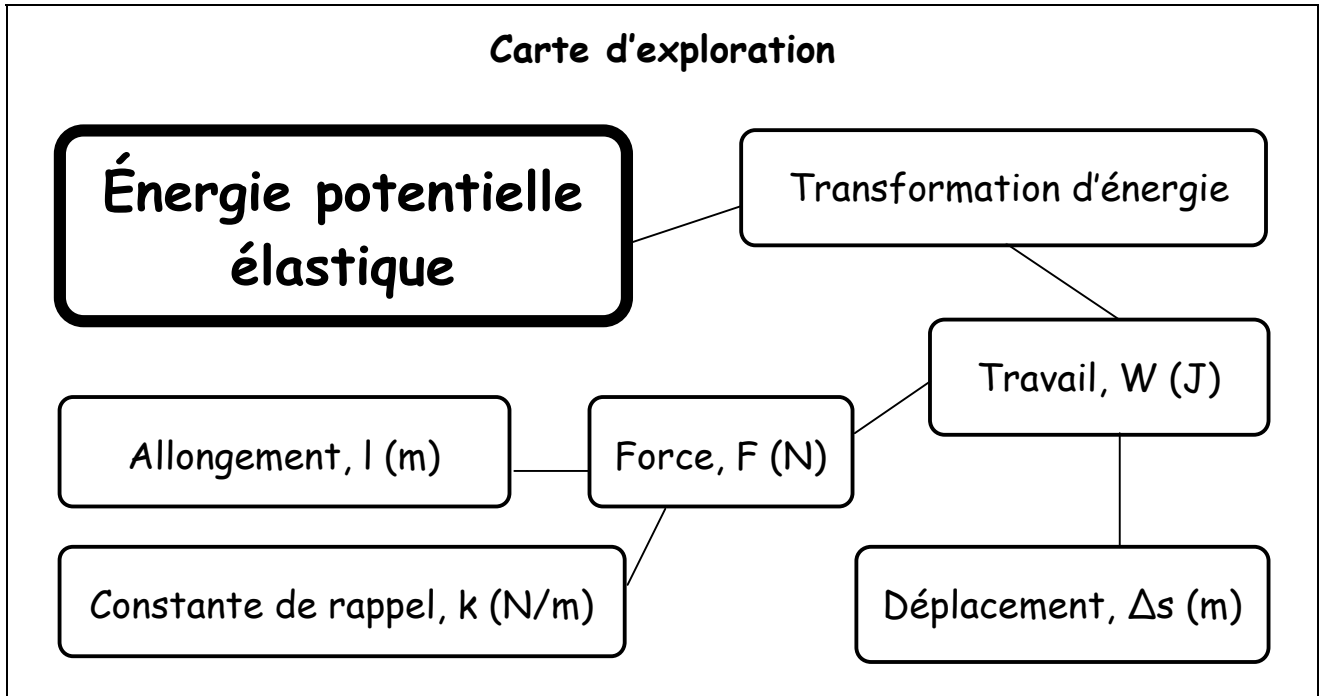
# Énergie emmagasinée par un ressort



Question : Quelle équation vous permet de calculer l'énergie emmagasinée dans un ressort sous tension?

Démontrer mathématiquement et valider expérimentalement.

## Carte d'exploration



## Rappel des équations utiles

$F=k \cdot l$  où  $F \Rightarrow$  force du ressort en N,  $k \Rightarrow$  constante de rappel en N/m,  $l \Rightarrow$  allongement du ressort en m

$W=F \cdot \Delta s$  où  $W \Rightarrow$  travail en J (Joule),  $F \Rightarrow$  force en N,  $\Delta s \Rightarrow$  déplacement en m (dans la même direction que la force)

## Démonstration mathématique

Essayons de formuler une équation mathématique qui nous permettrait de calculer l'énergie emmagasinée dans un ressort sous tension.

Dans la section précédente, vous avez trouvé que la force engendrée par un ressort était directement proportionnelle à son allongement et était décrite par l'équation suivante :  $F=k \cdot l$

Lorsque nous étirons un ressort, la force est croissante du début à la fin de l'étirement. Nous essayons maintenant de trouver l'équation qui nous donnerait la force moyenne utilisée lors de l'étirement du ressort.

Utiliser la force moyenne ici équivaut à utiliser la vitesse moyenne lors du calcul de la durée d'un trajet de voiture par exemple. S'attarder aux différentes vitesses atteintes lors du trajet n'apporterait aucune information pertinente.

Dans notre cas, trouver l'équation décrivant la force moyenne n'est qu'un moyen de simplifier le raisonnement. Voyez la démonstration suivante :

Description de la force	Équation
Force juste avant de débiter l'étirement (Il n'y a pas d'allongement, $l_{\text{début}} = 0$ )	$F_{\text{début}} = k \cdot l_{\text{début}} \Rightarrow F_{\text{début}} = k \cdot 0 \Rightarrow F_{\text{début}} = 0$
Force à la fin de l'étirement (L'allongement est maximum, $l_{\text{fin}} > 0$ )	$F_{\text{fin}} = k \cdot l_{\text{fin}}$
Force moyenne	$F_{\text{moyenne}} = (F_{\text{début}} + F_{\text{fin}}) / 2$ $F_{\text{moyenne}} = (k \cdot l_{\text{début}} + k \cdot l_{\text{fin}}) / 2$ $F_{\text{moyenne}} = (k \cdot 0 + k \cdot l_{\text{fin}}) / 2$ $F_{\text{moyenne}} = (0 + k \cdot l_{\text{fin}}) / 2$ $F_{\text{moyenne}} = (k \cdot l_{\text{fin}}) / 2$
Enfin la force moyenne est donnée par:	$F_{\text{moyenne}} = \frac{1}{2} k \cdot l_{\text{fin}}$

Maintenant, c'est à vous de jouer. Les questions suivantes vous guideront vers l'équation recherchée, celle qui nous permettrait de calculer l'énergie emmagasinée dans un ressort sous tension.



### Question 1

Écrivez l'équation qui décrit la force moyenne nécessaire pour étirer un ressort et numérotez-la comme étant l'équation (1).

---


$$F_{\text{moyenne}} =$$

### Question 2

Utilisez maintenant une notion vue en quatrième secondaire, le travail. Le travail est en quelque sorte une manifestation mécanique d'une énergie quelconque. Par exemple, l'énergie électrique peut être convertie en travail par un moteur électrique. C'est la

raison pour laquelle l'unité de mesure du travail peut être la même que celle de l'énergie. Dans notre cas, nous utiliserons le joule (1 joule = 1 N•m). **Écrivez donc l'équation qui décrit le travail fait en déplaçant une masse sur une certaine distance en appliquant une force et numérotez-la comme étant l'équation (2).**

---

$$W =$$

---

### Question 3

Comme le travail et l'énergie sont deux quantités physiques apparentées, cherchez une équation décrivant le travail fait lorsque vous étirez un ressort. **Remplacez la force présente dans l'équation (2) par son équivalent présent dans l'équation (1). Écrivez l'équation résultante ci-dessous et numérotez-la comme étant l'équation (3).**

---

$$W =$$

---

### Question 4

Lorsque vous étirez un ressort, l'allongement du ressort « $l_{fin}$ » et le déplacement « $\Delta s$ » se confondent. Dans l'équation (3), remplacez  $l_{fin}$  par  $l$  et  $\Delta s$  par  $l$ . **Récrivez cette nouvelle équation et numérotez-la comme étant l'équation (4).**



---

$$W =$$

---

### Question 5

Enfin, simplifiez l'équation (4) en utilisant un exposant et remplacez  $W$  par  $E_{\text{élastique}}$  (puisque le travail fourni correspond à l'énergie emmagasinée par le ressort). **Récrivez cette nouvelle équation et numérotez-la comme étant l'équation (5).**

---

$$E_{\text{élastique}} =$$

---

**Bravo!**

**L'équation (5) est l'équation mathématique qui vous permet de calculer l'énergie emmagasinée dans un ressort sous tension.**

## Application expérimentale dirigée

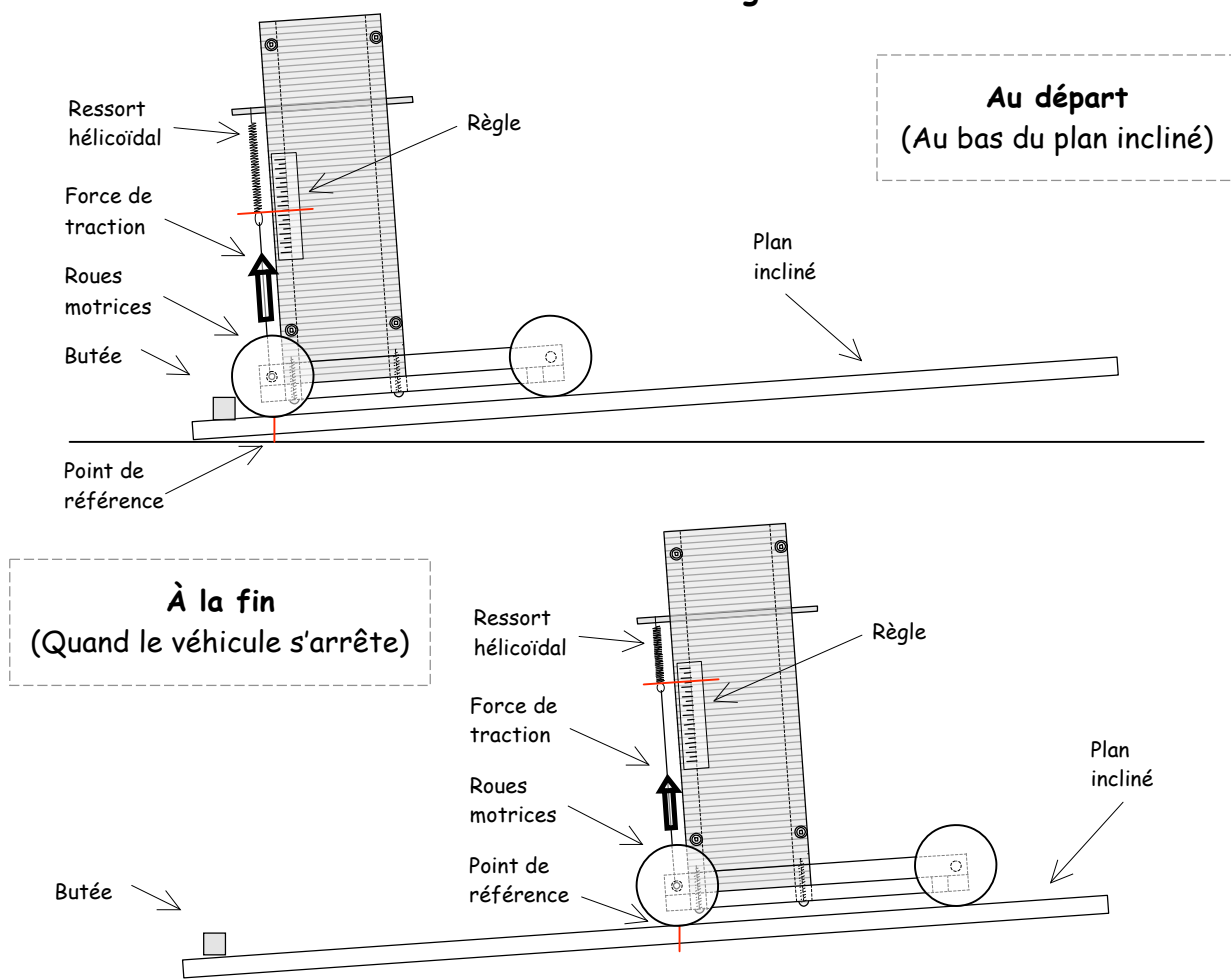
Il est maintenant temps d'utiliser cette nouvelle équation d'une façon expérimentale. Pour ce faire, nous utiliserons le petit véhicule, propulsé par un ressort hélicoïdal, illustré ci-dessous. En déterminant la hauteur que le véhicule atteindra dans une pente ascendante, nous pourrions évaluer l'énergie perdue par celui-ci. Le rendement énergétique du véhicule pourra ensuite être calculé.

Le protocole suivant vous aidera à réaliser cette démarche.

### Matériel

- 1 véhicule à ressort
- 1 plan incliné
- 1 feuille blanche (11x17 pouces)
- 1 rouleau de ruban gommé
- 1 règle
- 1 balance

### Schéma du montage





## Équations utiles

$E_{\text{élastique}} = \frac{1}{2} k \cdot l^2$  où  $E_{\text{élastique}} \Rightarrow$  énergie en J ou N•m,  $k \Rightarrow$  constante de rappel en N/m,  $l \Rightarrow$  allongement en m

$E_p = m \cdot g \cdot h$  où  $E_p \Rightarrow$  énergie potentielle en J,  $m \Rightarrow$  masse en kg,  $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ ,  $h \Rightarrow$  hauteur en m

## Manipulations

1. Peser le véhicule à l'aide d'une balance et noter sa masse dans le tableau de données.
2. Retranscrire la constante de rappel du ressort trouvée lors de l'expérience sur la loi de Hooke.
3. Positionner le plan incliné de façon à ce que sa pente soit d'environ  $3^\circ$ . (Cet angle peut être ajusté de façon à ce que le véhicule atteigne tout juste le haut du plan lorsque le ressort a un allongement de 4,0 cm).
4. Fixer une feuille de papier (11x17 pouces) sur le dessus du plan incliné à l'aide du ruban gommé. Cette feuille permet de noter précisément la position du véhicule lors de l'expérience.
5. Remonter le véhicule en étirant le ressort de 3,0 cm précisément.
6. Positionner le véhicule au bas du plan incliné, bien appuyé sur la butée.
7. Mesurer et noter la hauteur du véhicule par rapport à la table. Prendre comme référence le point de contact de la roue arrière avec le plan incliné (voir le point de référence sur le schéma ci-dessus).
8. Libérer le véhicule en le laissant remonter le plan incliné et attendre qu'il s'immobilise de lui-même (Minimiser toute friction entre les roues et le bâti du véhicule).
9. Lorsque celui-ci s'immobilise, remesurer et noter la hauteur du véhicule par rapport à la table (le point de référence étant le même).
10. Remesurer l'allongement du ressort et le noter dans le tableau de données (Le ressort n'aura pas libéré toute son énergie. Le véhicule s'arrêtera lorsque la force élastique sera égale à la composante de la force gravitationnelle).
11. Répéter les manipulations 5 à 10 avec le même allongement de façon à valider vos données et la précision de vos gestes.
12. Répéter les manipulations 4 à 11 avec des allongements de 3,5 cm et 4,0 cm.

Tableau de données				
Masse du véhicule $m$ (g) $\pm 0,005$ g :				
Constante de rappel du ressort $k$ (N/m) :				
#	Au départ (au bas du plan incliné)		À la fin (quand le véhicule s'arrête)	
	Allongement du ressort (cm) $\pm 0,1$ cm	Hauteur du véhicule $h$ (cm) $\pm 0,1$ cm	Allongement du ressort (cm) $\pm 0,1$ cm	Hauteur du véhicule $h$ (cm) $\pm 0,1$ cm
1	3,0			
2	3,5			
3	4,0			

## Analyser les résultats

*Traiter vos données.*

### Question 1

Calculer l'énergie élastique emmagasinée dans le ressort au départ et à la fin et indiquer vos résultats dans le tableau ci-dessous (pour les trois allongements).

---

---

---

### Question 2

Calculer l'énergie potentielle du véhicule au départ et à la fin et indiquer vos résultats dans le tableau ci-dessous (pour les trois allongements).

---

---

---

**Tableau des résultats #1**

#	Au départ (au bas du plan incliné)		À la fin (quand le véhicule s'arrête)	
	Énergie élastique du ressort $E_r$ (J)	Énergie potentielle $E_p$ (J)	Énergie élastique du ressort $E_r$ (J)	Énergie potentielle $E_p$ (J)
1				
2				
3				

Traitez vos données (suite).

**Question 3**

**Calculer l'énergie élastique libérée par le ressort lors des trois essais et indiquer vos résultats dans le tableau suivant.**

---

---

---

**Question 4**

**Calculer l'énergie potentielle gagnée par le véhicule lors des trois essais et indiquer vos résultats dans le tableau suivant.**

---

---

---

**Question 5**

**En considérant la loi de la conservation de l'énergie vue en quatrième secondaire, calculer l'énergie dissipée lors du processus pour les trois essais et indiquer vos résultats dans le tableau suivant.**

---

---

---

**Question 6**

**Calculer le rendement énergétique de ce véhicule. C'est-à-dire, trouver le pourcentage d'énergie transformée (De l'énergie élastique vers l'énergie potentielle). Indiquer vos résultats dans le tableau suivant.**

---

---

---

**Tableau des résultats #2**

#	Énergie élastique libérée par le ressort $\Delta E_r$ (J)	Énergie potentielle gagnée par le véhicule $\Delta E_p$ (J)	Énergie dissipée $\Delta E_d$ (J)	Rendement énergétique (%)
1				
2				
3				

*Tirez vos conclusions*

**Question 7**

**Pourquoi l'énergie dissipée n'est pas identique pour les trois allongements du ressort ?**

---



---



---

**Question 8**

**Que devrait être le rendement d'un véhicule idéal ? Pourquoi ?**

---



---

**Question 9**

**Comparer vos rendements aux rendements des autres équipes de la classe. Ont-ils obtenu des résultats semblables ? Pourquoi ?**

---



---



---



## Revenons maintenant au crime crapuleux

### Lors de la visite du sergent au laboratoire

- Bonjour docteur,

C'est toujours bizarre de vous appeler ainsi, j'ai l'impression de m'adresser à mon médecin. Quoi qu'il en soit, comment la physique nous aidera à résoudre ce crime ?

- Sergent, notre investigation avance à grands pas. Nous avons reçu le rapport du médecin, faites-moi penser de vous le donner tout à l'heure. Grâce à ce rapport, nous avons précisé la quantité d'énergie qui a causé la fracture du crâne.

Pour ce qui est de l'arme, il s'agit d'un dispositif dont l'énergie provient d'un mécanisme à ressort. Il est tout à fait possible de déterminer l'énergie qui a propulsé la bille. D'ailleurs, mon personnel technique devrait s'attaquer à ce travail sous peu.

Ils ont même mis au point un transducteur piézoélectrique et un tube de simulation. Le transducteur transforme l'énergie mécanique due à l'impact en tension électrique facile à mesurer. Le tube lui simule parfaitement la friction de la bille dans l'air tout au long de son parcours entre les deux édifices. Pour pouvoir se déplacer, la bille doit bousculer les molécules d'air sur son parcours. Cet exercice demande un certain travail, c'est de là que provient cette perte d'énergie. Ce frottement de l'air doit être quantifié si on veut modéliser le tout convenablement. Vous allez voir, ils ont fait du beau travail.

- Mais docteur, je ne vois pas comment on peut piéger un criminel avec ça !!!

- Sergent, vous vous souvenez du design de l'édifice d'en face avec ses belles lucarnes ?

- Comment l'oublier docteur, si ce n'était que de moi, je ferais raser cet édifice.

- Bon, c'est précisément ces petites lucarnes qui sont notre chance. Voyez sergent :

- La victime était assise sur le balcon du quatrième étage. L'impact sur sa tête a eu lieu à une hauteur de 13,21 mètres du sol.
- L'agente de sécurité se trouvait dans une pièce du troisième étage dont la lucarne était à une hauteur de 10,33 mètres du sol.
- La femme de ménage, quant à elle, se trouvait dans une pièce dont la lucarne était à une hauteur de 13,17 mètres du sol.
- Le plombier, lui, se trouvait dans une pièce dont la lucarne était

**exactement à une hauteur de 12,55 mètres du sol.**

Il y a donc une différence d'énergie potentielle gravitationnelle.

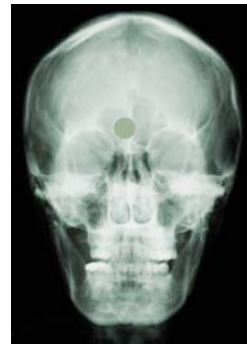
- Je ne suis pas certain de comprendre... Mais enfin, je vous fais confiance docteur!
- Voici le rapport en question. Ne vous en faites pas, on va le coincer!

### **Rapport du médecin de la police criminelle**

Rapport préparé à l'intention du laboratoire de balistique de la SCDP

Numéro de référence : 08g782f

- La fracture du crâne a été causée par un projectile sphérique d'un diamètre d'environ 25 mm.
- L'énergie nécessaire à la déformation du crâne a été estimée à (        ) joules.



*Dr. Lehcim Cire*

Dr. Lehcim Cire

### **Réunion du docteur avec son équipe technique**

Bonjour à tous,

En débutant, bravo pour votre beau travail! On m'a dit que votre transducteur ainsi que votre tube de simulation sont au point. Ils nous seront fort utiles. Nous avons aussi reçu le rapport du médecin, en voici une copie. Il reste encore pas mal de pain sur la planche. À vous maintenant d'établir le plan de match.

Allez, le lieutenant attend notre rapport.  
Bon travail!



## Cerner le mandat à la suite des activités d'apprentissage

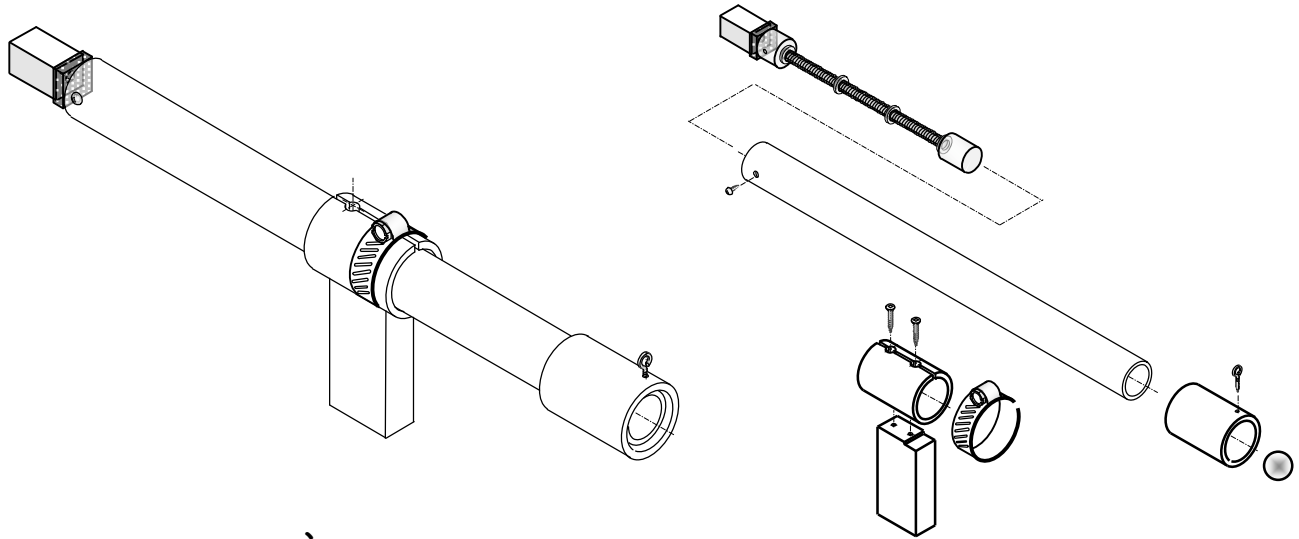
*Que devez-vous faire pour coincer le ou la coupable ?*  
(Faites un plan de travail complet de l'ensemble de votre démarche)



# Caractériser l'arme du crime



Questions : Quelle force élastique peut générer cette arme ?  
Quelle est la course du ressort du lanceur ?



## CERNER LE PROBLÈME

Problème à résoudre :

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## CONCRÉTISER LE PLAN D'ACTION

(Exécuter le protocole, recueillir les données)

Tableau de données

## ANALYSER LES RÉSULTATS

Traitement des données (calcul,  
graphique)

---

---

---

---

---

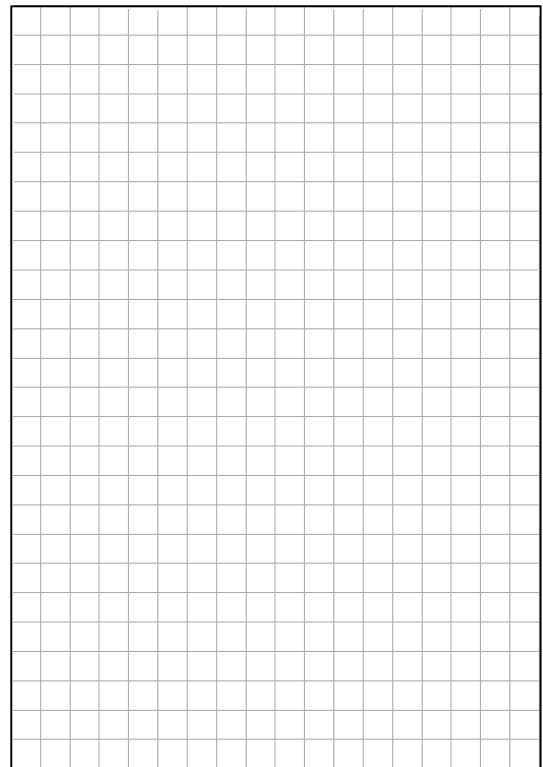
---

---

---

---

---







## Énergie cinétique de la bille (sans la friction de l'air)

### Question 1

À partir de l'expérimentation précédente, quelle est l'énergie libérée par le ressort de l'arme?

#### Équation utile

$E_{\text{élastique}} = \frac{1}{2} k \cdot l^2$  où  $E_{\text{élastique}} \Rightarrow$  énergie en J ou N•m,  $k \Rightarrow$  constante de rappel en N/m,  $l \Rightarrow$  allongement en m

---

---

---

### Question 2

L'énergie libérée par le ressort permettra d'accélérer la bille ainsi que le mécanisme de l'arme (propulseur). Sachant que la masse du propulseur est d'environ 16g et que celle de la bille est d'environ 20g, déterminer l'énergie cinétique que possède la bille lorsqu'elle quitte le propulseur.

---

---

---

### Question 3

Calculer la vitesse de la bille lorsqu'elle quitte le propulseur.

#### Équation utile

$E_{\text{cinétique}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$  où  $E_{\text{cinétique}} \Rightarrow$  énergie en J,  $m \Rightarrow$  masse en kg,  $v \Rightarrow$  vitesse en m/s

---

---

---

## Question 4

### Équation utile

$E_p = m \cdot g \cdot h$  où  $E_p \Rightarrow$  énergie potentielle en J ,  $m \Rightarrow$  masse en kg,  $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ ,  $h \Rightarrow$  hauteur en m

À la question 2 ci-dessus, vous avez calculé l'énergie cinétique de la bille lorsqu'elle quitte le propulseur. Lorsque la bille s'élève, une partie de cette énergie se transforme graduellement sous forme d'énergie potentielle gravitationnelle. Il y a une limite théorique au-delà de laquelle la bille ne peut monter. En effet, l'énergie du système lorsque la bille est en fin de course ne peut pas être plus grande que l'énergie présente lorsque la bille quitte le propulseur.

**À partir des données présentes dans le tableau ci-dessous (Voir la section «Visite du sergent au laboratoire»), déterminer la quantité d'énergie nécessaire pour générer les 3 variations d'hauteur de la bille ?**

#	Identification	Hauteur (m)	Variation d'hauteur (cm)	Énergie nécessaire (J)
	Victime	13,21	----	----
1	Agente de sécurité	10,33	288	
2	Femme de ménage	13,17	4	
3	Plombier	12,55	66	

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Question 5

Comparer maintenant l'énergie cinétique de la bille lorsqu'elle quitte le propulseur aux quantités d'énergie nécessaires pour élever la bille dans le cas de nos 3 suspects. **Évaluer la plausibilité des trois tirs et écarter un ou plusieurs suspects s'il y a lieu. Justifier à l'aide de calculs.**

#	Identification	Plausibilité		Suspect écarté (✓)
		Possible (✓)	Impossible (✓)	
1	Agente de sécurité			
2	Femme de ménage			
3	Plombier			

Justification :

---

---

---

---

### Question 6

Dans cette étude théorique, la friction de la bille dans l'air tout au long de son parcours entre les deux édifices n'est pas prise en compte. **Si nous tenons compte de ce facteur, la liste de nos suspects sera-t-elle modifiée ? Pourquoi ?**

---

---



## Théorie sur le cristal piézoélectrique

Les calculs théoriques ont permis de réduire le nombre de suspects. Il est maintenant impossible d'aller plus loin sans connaître la perte d'énergie que subie la bille lorsque celle-ci se déplace dans l'air. Il s'agit donc maintenant de modéliser la friction de l'air sur la bille d'une façon expérimentale à l'aide du tube de simulation et d'un transducteur.

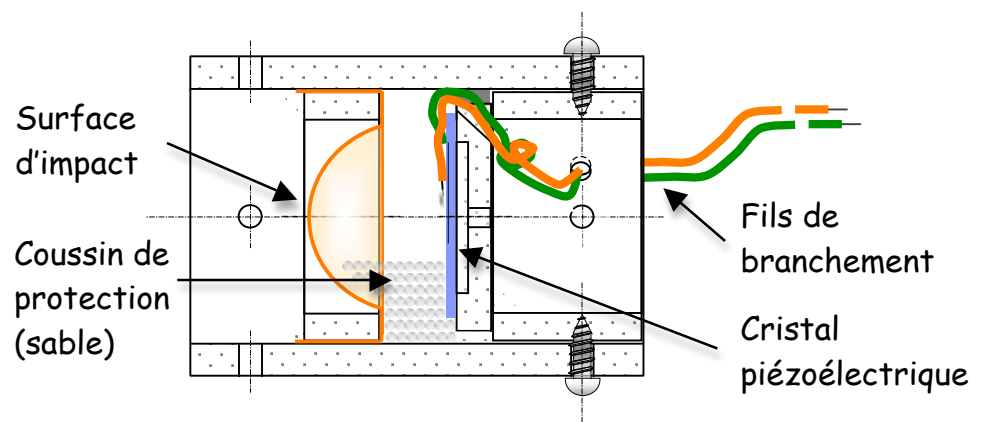
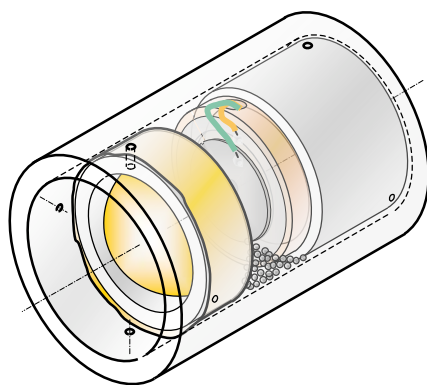
Un transducteur est un instrument qui transforme l'énergie d'une forme à une autre. Dans notre cas, c'est un minuscule cristal piézoélectrique qui se charge du travail. Nous avons retiré ce cristal d'une carte de fête chantante. Dans le cas de cette carte, le cristal convertit l'énergie électrique provenant d'une petite pile en énergie mécanique de vibration (c'est-à-dire les sons).



Nous utiliserons ici le cristal en sens inverse. Nous lui fournirons de l'énergie mécanique et il convertira cette énergie sous forme d'énergie électrique que nous pourrons facilement mesurer.

Mais avant de pouvoir vous servir du transducteur, celui-ci doit être étalonné. C'est-à-dire, relier une énergie à une tension électrique donnée. Voici donc une démarche qui vous permettra de le faire facilement.

### Transducteur piézoélectrique

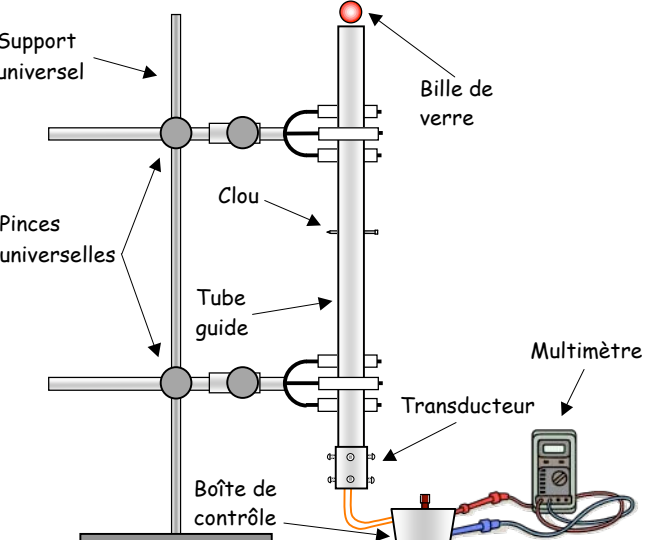




# Étalonnage du transducteur

Questions : Quelle relation mathématique relie l'énergie mécanique (travail) à la tension électrique générée par le transducteur ? Quelle sorte de courbe peut-on tracer à partir des résultats expérimentaux ?

Déterminer expérimentalement

Matériel	Schéma du montage
<ul style="list-style-type: none"><li>• 1 ensemble # ( X )<ul style="list-style-type: none"><li>• bille de verre de 25 mm</li><li>• tube guide de 95 cm</li><li>• transducteur piézo.</li><li>• boîte de contrôle</li></ul></li><li>• 1 multimètre (précis au centième de volt)</li><li>• 1 support universel</li><li>• 2 pinces universelles (noix)</li><li>• 1 clou</li><li>• 1 tournevis</li><li>• 1 balance</li></ul>	 <p>Le schéma illustre le montage expérimental. Un support universel maintient un tube guide vertical. Une bille de verre est placée au sommet du tube guide. Un clou est fixé à l'intérieur du tube guide. Le transducteur piézo est fixé à la base du tube guide. Une boîte de contrôle est connectée au transducteur et à un multimètre. Les pinces universelles sont utilisées pour maintenir le tube guide en place.</p>

## Manipulations

1. Effectuer le montage ci-dessus.
2. Brancher le multimètre sur la boîte de contrôle et l'ajuster en mode tension DC, sur une échelle donnant une précision au centième de volt.
3. Peser la bille de verre et noter sa valeur dans le tableau des données.
4. Insérer le clou dans le trou situé à 7,5 cm au-dessus du transducteur.
5. Laisser glisser la bille dans le tube guide jusqu'au clou.
6. Presser le bouton de réinitialisation sur la boîte de contrôle.
7. Relâcher le bouton de réinitialisation puis retirer le clou.
8. Lire la tension maximale indiquée par le multimètre lorsque la bille frappe le transducteur et noter cette tension dans le tableau de données.
9. Répéter les manipulations 3 à 8 deux autres fois de façon à pouvoir faire une moyenne avec trois valeurs. (autres manipulations à la page suivante)

10. Répéter les manipulations 3 à 9 pour les autres hauteurs suivantes : (15) (22,5) (30) (40) (50) (70) et (90cm).

### Laboratoire dirigé

*En une phrase, résumez votre but :*

---

---

Nommez quelques facteurs constants lors de cette expérimentation :

---

---

*Résumez votre protocole sous forme d'un diagramme.*

Tableau de données					
Masse de la bille m (g) :					
#	Hauteur de la bille (cm)	Tension (V) essai #1	Tension (V) essai #2	Tension (V) essai #3	Tension moyenne (V)
1	90				
2	70				
3	50				
4	40				
5	30				
6	22,5				
7	15				
8	7,5				

## Analyser les résultats

*Traiter vos données.*

### Question 1

Lors de cette expérimentation, il y a plusieurs transformations d'énergie. En effet, l'énergie change plusieurs fois de forme. **Au début de l'expérience, sous quelle forme l'énergie est-elle, lorsque la bille repose sur le clou ?**

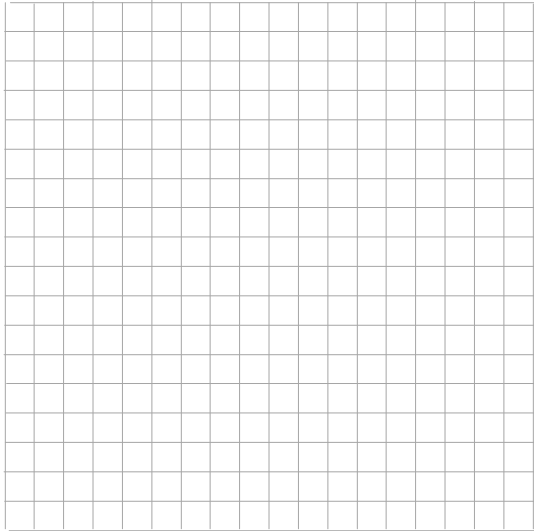
### Question 2

**Calculer l'énergie potentielle de la bille pour chaque hauteur utilisée et indiquer vos résultats dans le tableau ci-dessous.**

Tableau des résultats

#	Hauteur de la bille (cm)	Énergie potentielle (J)	Tension moyenne (V)
1	90		
2	70		
3	50		
4	40		
5	30		
6	22,5		
7	15		
8	7,5		

Traitez vos données (suite).



Faites ressortir les tendances.

### Question 3

En traçant le graphique de l'énergie en fonction de la tension électrique, quel genre de relation mathématique retrouvez-vous?

---

---

---

### Question 4

Indiquer toutes les formes d'énergie présentes lors de cette expérimentation en complétant le tableau suivant :

Tableau récapitulatif	
Type d'énergie (ou travail)	À un moment déterminé
	Lorsque la bille repose sur le clou
	Juste avant que la bille percute le cristal
	Lorsque le cristal se déforme
	Lorsqu'un courant électrique est généré

### Question 5

Il est intéressant de voir mathématiquement pourquoi nous retrouvons une telle courbe sur le graphique ci-dessus. Retournons en quatrième secondaire et explorons un peu les concepts d'énergie électrique et de la loi d'ohm. En isolant  $I$  dans la loi d'ohm ( $U=R \cdot I$ ) on trouve  $I = U/R$ . L'énergie électrique est donnée par  $E = U \cdot I \cdot \Delta t$ . **À partir de ces indices, déduisez une équation qui confirme la relation mathématique trouvée sur le graphique ci-dessus.**

$$E = \underline{\hspace{2cm}}$$

*Tirez vos conclusions*

**Question 6**

Comment un graphique de l'énergie en fonction de la tension générée par le transducteur peut vous servir ?

---

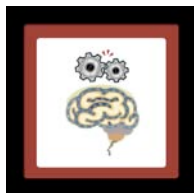
---

---

---

---

## Modélisation de la friction de l'air sur la bille



Il s'agit maintenant de modéliser la friction de l'air sur la bille d'une façon expérimentale à l'aide du tube de simulation, de l'arme et du transducteur.

**Question : De quelle façon, la friction de l'air, influence la quantité d'énergie transmise par la bille à la victime ?**

### CERNER LE PROBLÈME

Problème à résoudre :

---

---

---

---

---

---

---

---

---

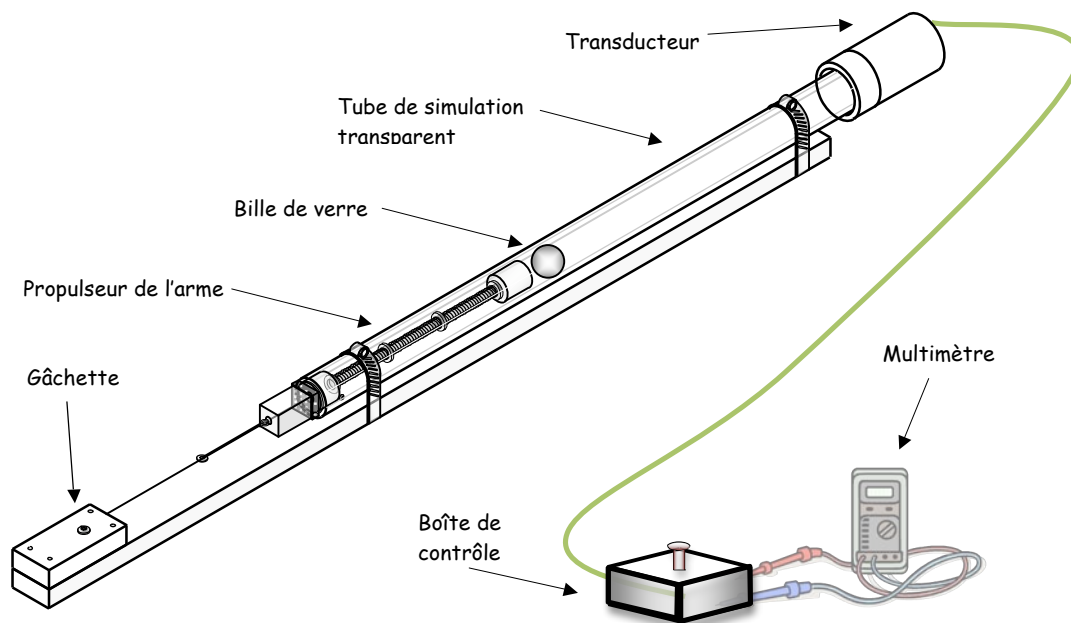
---

## ÉLABORER LE PLAN D'ACTION (Protocole)

### Matériel

- 1 ensemble
  - arme à ressort
  - bille de verre de 25 mm (déjà dans le tube de simulation)
  - tube de simulation
  - transducteur piézoélectrique
  - boîte de contrôle
- 1 multimètre (précis au centième de volt)
- 1 étau pour fixer le tout
- 1 mètre

### Schéma









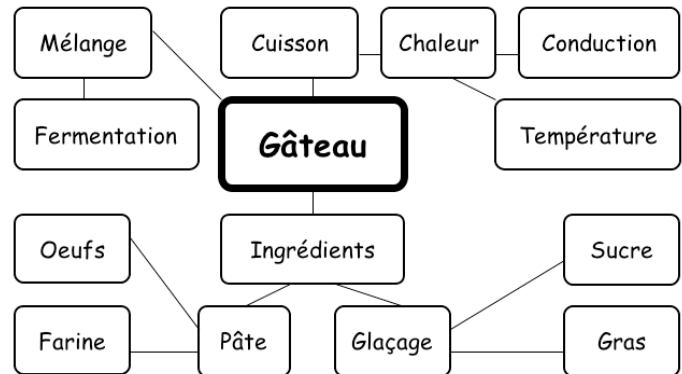




## Intégration et réinvestissement

À la lumière de cette investigation, reconstruisez un réseau des concepts reliés aux transformations d'énergie. Ce nouveau réseau sera sans doute plus complet que celui que vous avez bâti au tout début de cette activité. Cet exercice vous permettra d'apprécier le chemin parcouru.

### Exemple d'un réseau de concepts



### Réseau de concepts

**Transformations  
de l'énergie**

## Rapport d'enquête et plus...

Nous vous invitons maintenant à produire votre rapport d'enquête. Celui-ci se doit d'être complet et doit toucher tous les aspects de votre démarche d'investigation. Même si votre rapport scientifique ne sera qu'une partie de la preuve qui sera déposée en cour lors du procès, il constituera une pièce maîtresse. Voici quelques pistes qui pourront guider votre rédaction :

1. Résumer ce qui a été fait.
2. Dire comment vos résultats peuvent orienter l'enquête.
3. Énoncer le niveau de certitude de votre preuve.

Dans un deuxième temps, nous vous invitons à pousser un peu plus loin votre réflexion scientifique. Le transducteur piézoélectrique a été au cœur de vos expérimentations. Nous vous demandons ici de l'étudier plus en détail. Voici encore quelques pistes qui pourront guider cette réflexion :

1. Expliquer comment son cristal génère une telle tension.
2. Énoncer trois autres domaines où l'on pourrait l'utiliser.
3. Expérimenter l'une de ces applications et démontrer concrètement comment l'utiliser.

Ce rapport final peut prendre la forme d'une présentation PowerPoint, d'une affiche ou simplement d'un texte.

Plan de travail