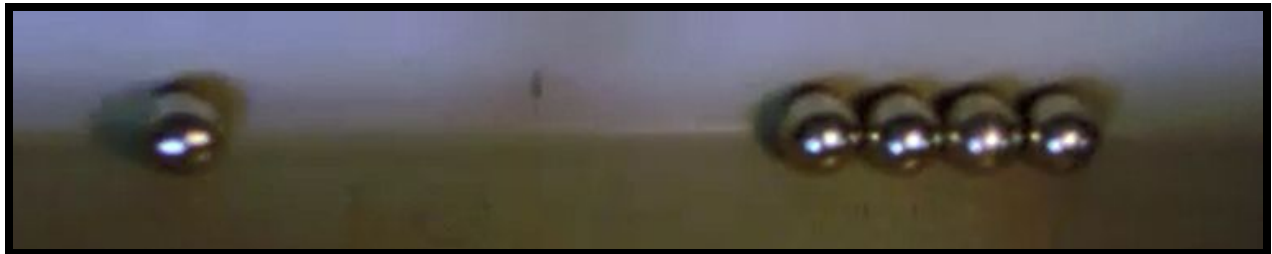


# Où sont passés les mJ ?



**Élèves participant :** Léa Morel, Madina Jalmourzaeva, Margot Lecat

**Professeurs encadrant :** Julien Barthes, Hervé Lefranc

**- CLASSE DE Terminale S - Lycée Carnot -  
Académie de Dijon**

## RÉSUMÉ

Notre projet traite d'une expérience insolite où l'énergie semble être créée lors d'un choc entre billes métalliques. Nous nous sommes d'abord demandé quelles forces entraînent en jeu et qu'est-ce qui pouvait expliquer les phénomènes que nous observions. Nous avons alors découvert la disparition d'une partie de l'énergie, cachée, et présente initialement. Nous avons donc mis en place plusieurs expériences afin de répondre à nos questions...

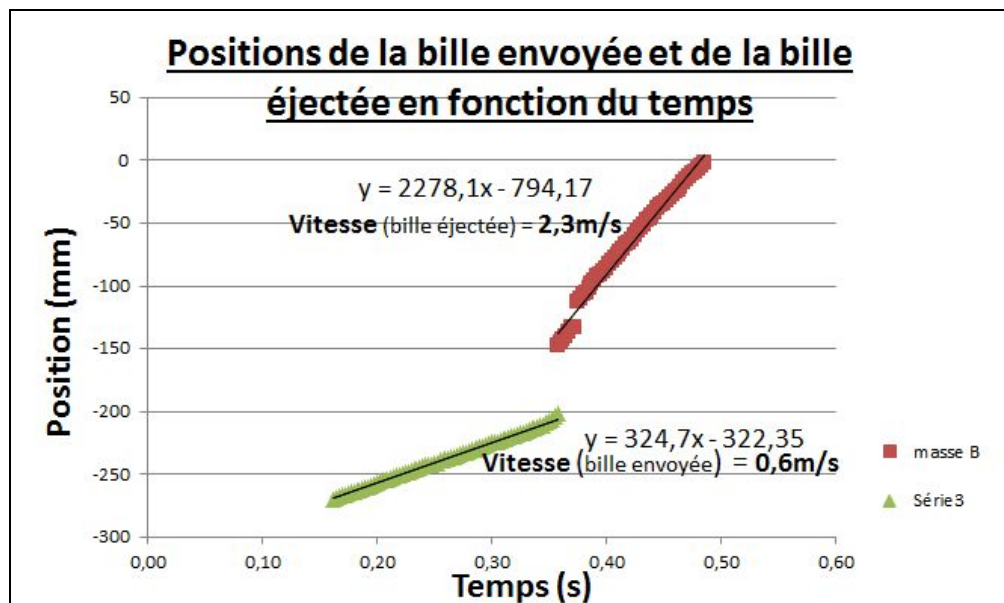
## INTRODUCTION

Nous avons fait une première expérience avec des billes aimantées, faites en néodyme (NdFeB), et des non aimantées, en acier. Chaque bille a un diamètre d'environ 13 mm. L'expérience consiste à rapprocher à faible vitesse deux billes aimantées dont une est au contact d'une série de trois billes non aimantées.

Le choc des deux billes aimantées projette la dernière bille non aimantée à une vitesse supérieure à celle qu'on observe lors du rapprochement des billes aimantées.



Pour confirmer cette observation, nous avons filmé l'expérience avec une caméra rapide (400 images/seconde) et utilisé un logiciel de pointage, Tracker, pour observer la position de la bille dans le temps. Nous avons obtenu le graphique suivant :



Nous avons donc un gain d'énergie : la bille envoyée va à une vitesse de **0,6 m/s**, tandis que la bille éjectée atteint une vitesse de **2,3 m/s**. Il semble y avoir une incohérence puisque d'après un principe fondamental de physique l'énergie ne peut pas être créée à partir de rien.

**Alors d'où vient cette énergie ?**

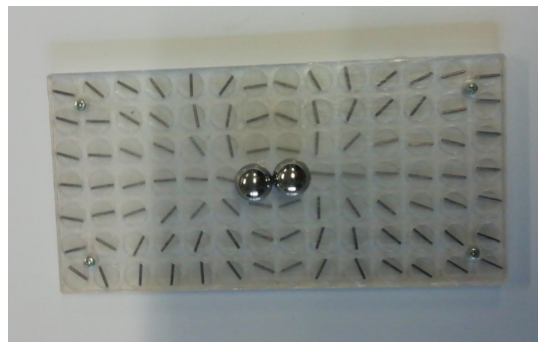
## 1) D'où vient l'énergie ?

### 1. Force d'origine magnétique

Nous avons émis l'hypothèse que cette énergie provenait de l'attraction magnétique entre les deux billes aimantées.



Effectivement, comme on peut le voir sur les photos suivantes, les billes aimantées forment un champ magnétique autour d'elles. Ces images nous permettent également de mettre en évidence que chaque bille possède deux pôles (nord et sud), on dit que ce sont des dipôles. Ainsi, les pôles opposés s'attirent et permettent aux billes de se souder entre elles. (Nous avons placé deux billes pour éviter les rotations d'une bille).



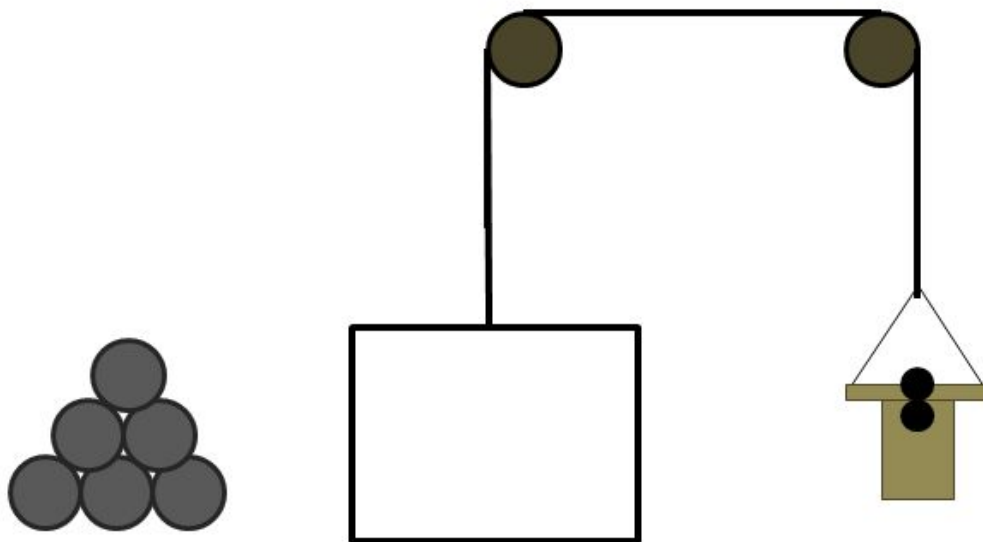
On retrouve ce phénomène magnétique dans plusieurs cas, par exemple au sein même des atomes avec les interactions électromagnétiques entre les protons et les électrons, ou au niveau des planètes dont leur noyau, riche en fer, crée un champ magnétique.

C'est un phénomène universel. Dans notre cas, les billes aimantées sont en néodyme (NdFeB), cet alliage a une forte propriété magnétique et permet donc la présence d'un champ magnétique.

Le mouvement des billes dans notre expérience s'explique par le même principe que pour le pendule de Newton, à savoir la conservation de la quantité de mouvement. Quand la première bille arrive sur le bloc, ce mouvement est transmis aux autres billes, et ce, jusqu'à la dernière. La dernière bille conserve ce mouvement, c'est la raison pour laquelle elle se détache du bloc.

Pour confirmer notre hypothèse de l'importance de la force magnétique, nous avons dans un premier temps mesuré la force d'arrachage nécessaire pour séparer les deux billes magnétiques, ce qui correspond à l'énergie contenue dans les billes au moment de l'impact.

Pour cela, nous avons placé les deux billes qui nous intéressaient de manière à ce qu'elles soient en contact, puis nous avons relié à l'une des deux un panier où nous avons rajouté des masses au fur et à mesure, ce qui nous a permis d'obtenir la masse équivalente à la force d'arrachage nécessaire pour les séparer.



A chaque fois nous ajoutons une feuille de papier supplémentaire afin d'augmenter la distance entre les deux. Plus les billes sont éloignées, moins elles sont liées entre elle, et moins il faut de masse pour les séparer.

## 2. De la force à l'énergie potentielle

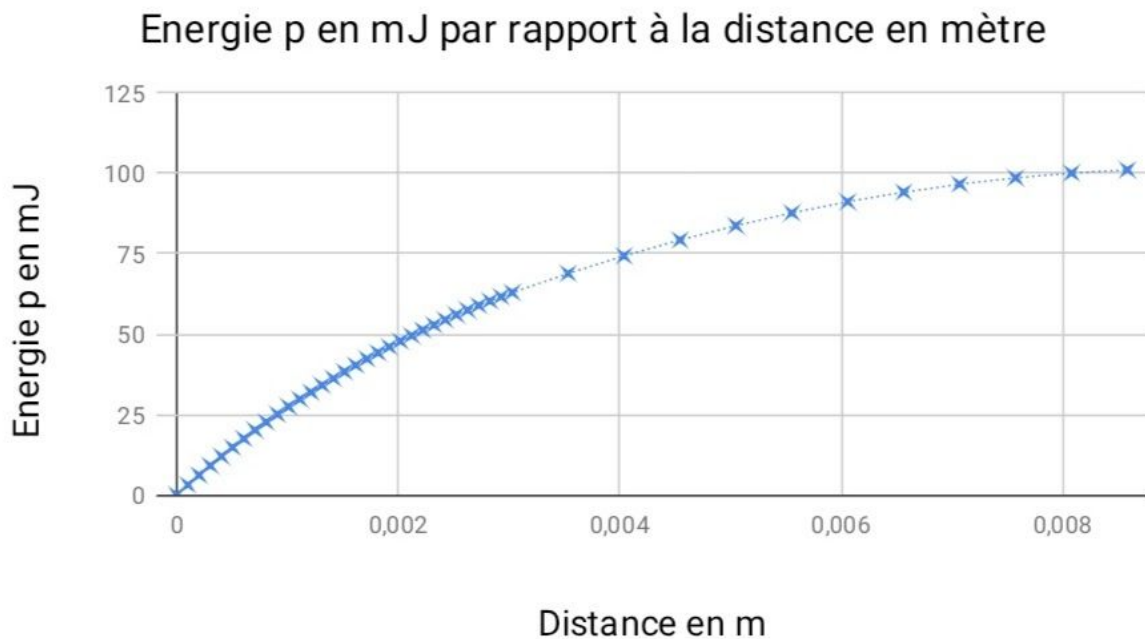
Nous avons ensuite converti la force d'arrachage en énergie potentielle et nous avons utilisé la formule suivante :

$$E_p(x) = E_p(x-e) + mg \cdot e$$

La force utilisée pour une distance  $e$  est  $mg$  (masse\*distance), l'écart d'énergie potentielle est  $mge$ . Comme nous utilisons des feuilles de papier, nous avons mesuré à l'aide d'un pied à coulisse l'épaisseur du tas de feuilles (nous trouvons environ 9,1 mm) que l'on divisait par le nombre total de feuilles (90) ce qui nous donnait alors 0,101 mm pour l'épaisseur d'une feuille.



Elle nous a permis d'obtenir un graphique présentant l'énergie potentielle de la bille arrivante en fonction de la distance qui la sépare de l'autre bille aimantée :



Nous avons donc observé que pour séparer les deux billes magnétiques l'énergie

nécessaire est de 101 mJ. Cela signifie que l'énergie présente dans le bloc est de 101 mJ au moment de l'impact. On a donc résolu notre premier problème qui était de savoir d'où venait l'énergie servant à éjecter la dernière bille.

### 3. De l'énergie potentielle à l'énergie cinétique

Nous avons supposé qu'il y avait une conversion de l'énergie potentielle en énergie cinétique suivant la formule :  $E_c = 1/2 mv^2$ .

Avec les billes aimantées il y a un stockage d'énergie dans le bloc, cette énergie est stockée sous forme d'énergie potentielle magnétique.

Comme la première bille est envoyée vers le bloc face à l'aimant, elle est attirée et elle accélère vers l'aimant. En accélérant son énergie croît. Et comme pour le mouvement, l'énergie est transmise à la dernière bille qui, avec le gain d'énergie de la première bille et l'énergie potentielle du bloc, part plus vite.

Ainsi nous avons calculé que la bille arrivante, qui allait à 0,6 m/s, a une énergie cinétique de 1,4 mJ, tandis que la bille éjectée, allant à 2,3 m/s, a une énergie cinétique de 21 mJ. On peut en déduire qu'une partie de l'énergie au moment de l'impact (101 mJ) est convertie sous forme d'énergie cinétique, ce qui explique la vitesse importante de la bille éjectée.

Donc pour résumer, une partie de l'énergie est gagnée quand la bille envoyée se lie au bloc, nous avons donc un gain d'énergie potentielle de 101 mJ. Puis cette énergie ainsi que le mouvement de la bille se transmettent jusqu'à la dernière bille qui s'extrait alors du bloc et l'énergie reçue est convertie en énergie cinétique. Cependant, seuls 21 mJ sont utilisés, 80 mJ manquent encore à l'appel. Or, toujours d'après le principe de conservation de l'énergie, cette dernière ne peut pas disparaître.

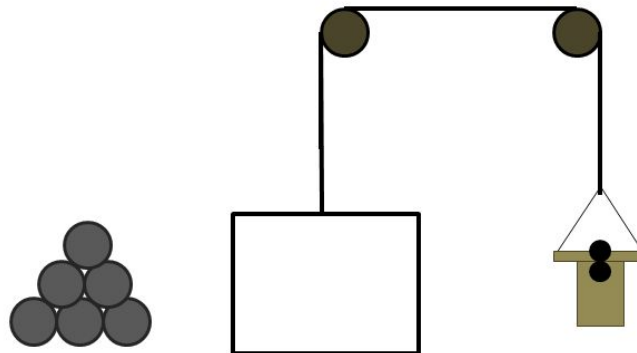
**Où sont donc passées les mJ manquants ?**

## II) Que devient l'énergie ?

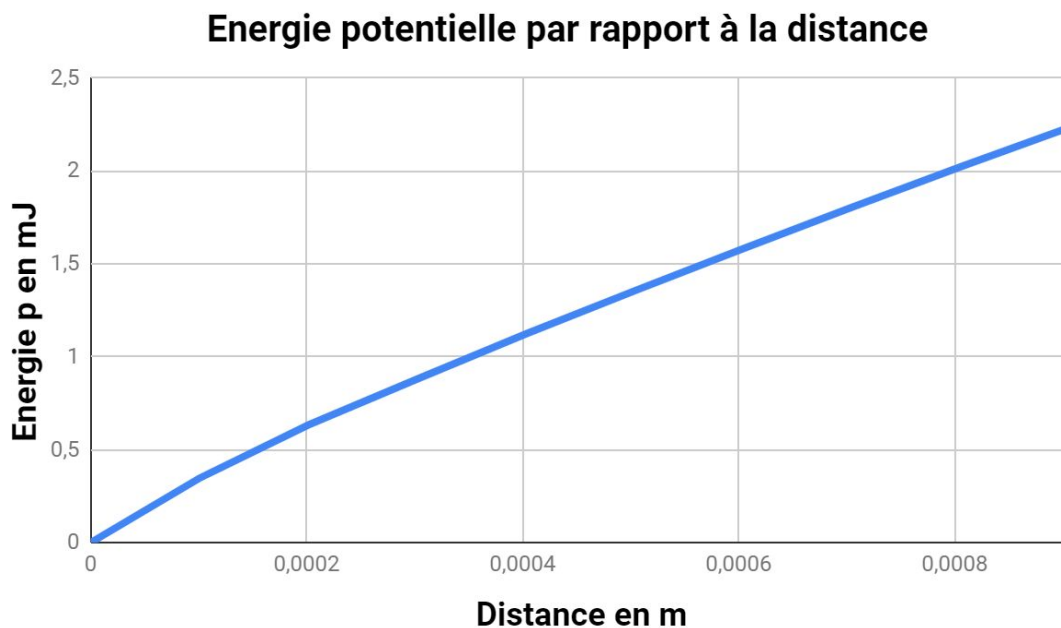
### 1. Énergie potentielle d'arrachage de la bille du bloc

Nous nous sommes rendu compte que si de l'énergie était utilisée pour lier les deux billes magnétiques entre elles, il en fallait aussi pour séparer les deux dernières billes non

aimantées. Nous avons donc réitéré la même expérience pour mesurer la force d'arrachage mais cette fois avec la dernière bille éjectée, non aimantée, et le reste du bloc de billes (2 non aimantées et 2 aimantées).



Sur le même principe que précédemment, nous avons obtenu le graphique suivant:



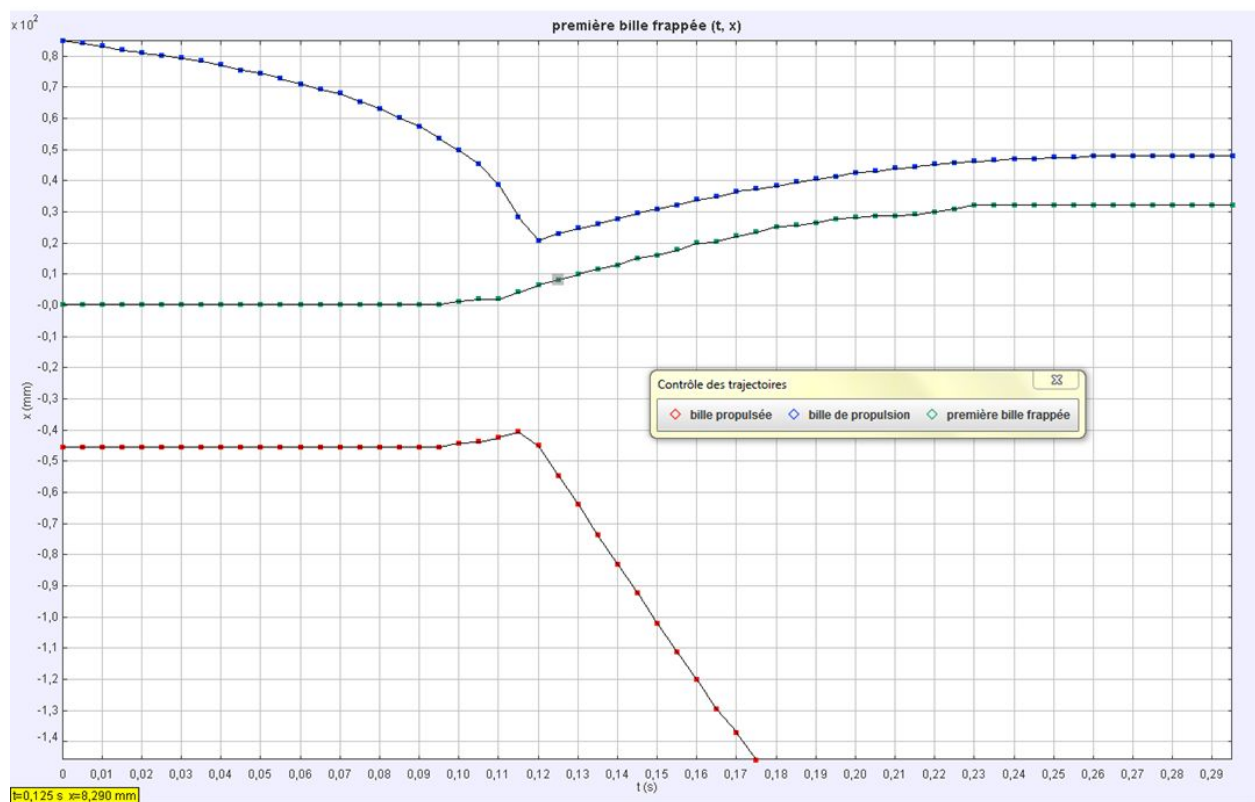
On observe donc que seuls 2,2 mJ sont prélevés pour extraire la dernière bille du bloc alors que 101 mJ étaient nécessaires dans le cas des deux billes magnétiques... Il y a une différence de 98,8 mJ.

*Ce n'est donc toujours pas suffisant pour expliquer où sont passées les mJ.*

## 2. Energie potentielle de recul

Après un nouveau visionnage de nos vidéos, nous avons remarqué que le bloc de billes, après le choc, reculait dans le sens opposé du mouvement de la bille envoyée et de la bille éjectée. L'effet du recul s'explique par la conservation de la quantité de mouvement. Dans les chocs, deux quantités se conservent, la quantité de mouvement et l'énergie cinétique.

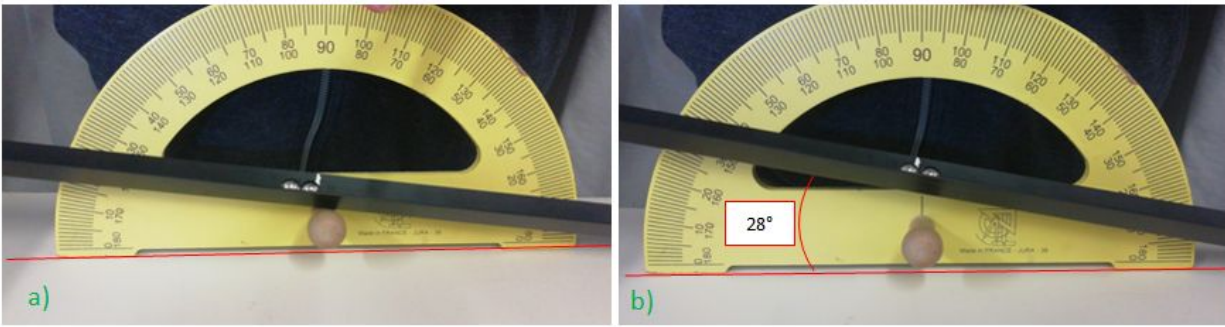
Nous avons réalisé un pointage vidéo, sur le logiciel Tracker, et nous avons obtenu le graphique suivant :



On observe que le bloc parcourt une distance de 3,2 cm avant de s'arrêter. Son énergie cinétique est donc convertie en énergie de frottement. Ainsi, en calculant l'énergie de frottement, on a été capable de déduire l'énergie de recul.

Tout d'abord, on a mesuré l'angle à partir duquel le bloc de bille commence à glisser sans qu'on applique une force au départ. Les billes sont alors soumises à leur poids et à la force de frottement.

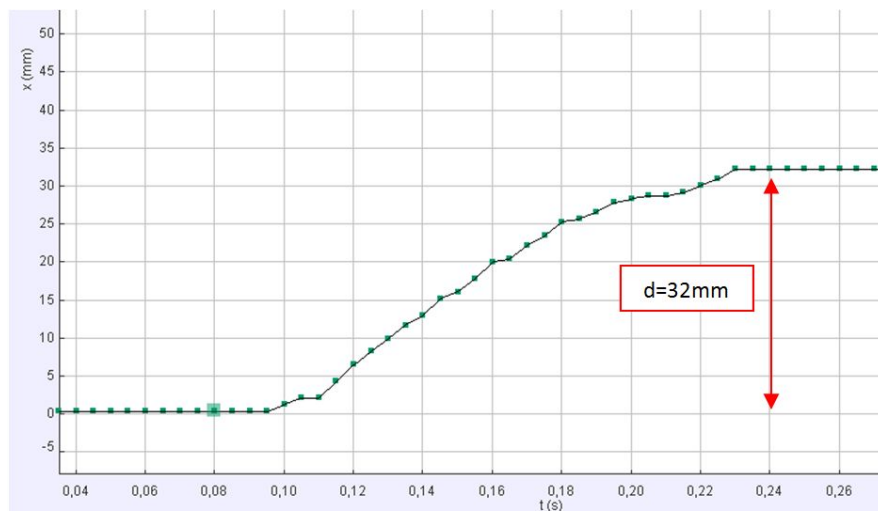




La formule de l'énergie de frottement est celle-ci :  $W(f)=f.mg.d$

Avec :

- le coefficient de frottement  $f = \tan \alpha$
- Nous avons mesuré l'angle  $\alpha$  qui est égal à  $28^\circ$
- La distance parcourue par le bloc est  $d=32 \text{ mm}$



- La masse totale du bloc est  $m=4*8,0=32\text{g}$

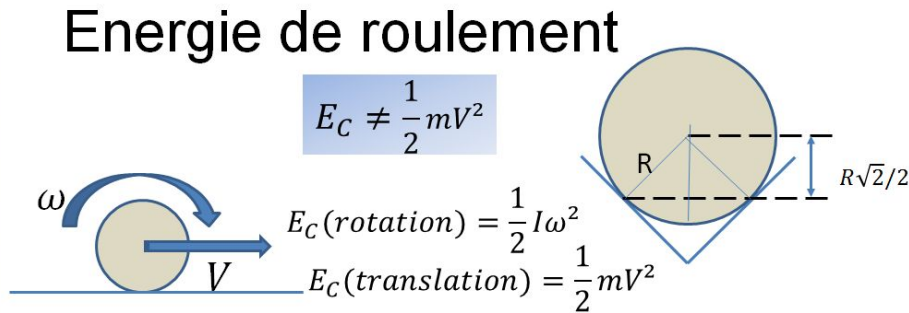
On obtient que la force de frottement est de 5,3 N.

L'énergie prélevée lors du recul du bloc de billes est donc de 5,3 mJ.

### 3. Energie de roulement

Une chose que nous n'avons pas pris en compte dans un premier temps est que les billes roulent sur elles-mêmes, convertissant l'énergie du bloc en énergie cinétique de rotation.

Il ne s'agit pas d'une formule qu'on nous enseigne au lycée et elle se présente comme sur le schéma ci-dessous.



$$E_C(\text{rotation}) = \frac{4}{5} E_C(\text{translation}) = 17 \text{ mJ}$$

-  $\omega$  est la constante de rotation

-  $I$  est le moment d'inertie

Mais dans notre expérience, la bille roule dans une gouttière en forme de V, ce qui fait qu'elle roule en

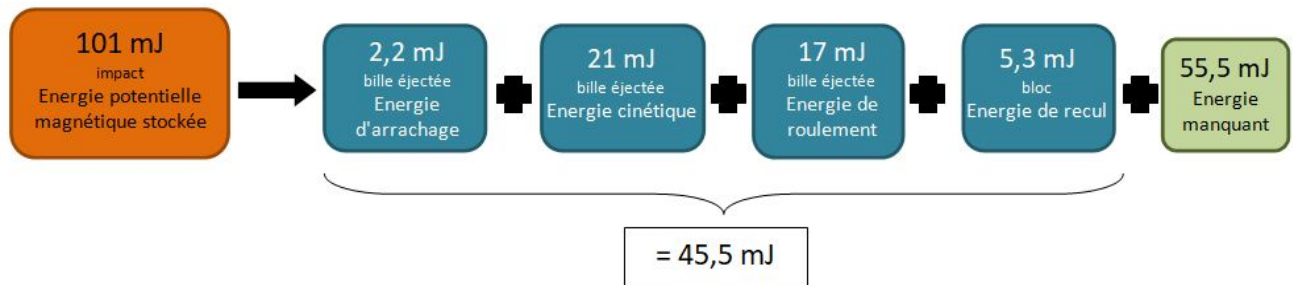
réalité sur 2 rayons (correspondant au deux points de contact) , ce qui complexifie un petit peu le calcul.

Au final on obtient une énergie de roulement de 17 mJ.

Si nous récapitulons nous avons pour commencer une énergie potentielle magnétique stockée dans le bloc de billes de 101 mJ. Cette énergie est ensuite convertie en :

- énergie cinétique de translation et en énergie cinétique de rotation lors de l'éjection de la dernière bille (21 mJ + 17 mJ = 38 mJ)
- énergie d'arrachage toujours lors de l'éjection de la bille (2,2 mJ)
- énergie de recul (5,34 mJ)

On a donc :



Où sont passés les mJ restants?

## CONCLUSION

Ce que nous pouvons retenir de notre travail est tout d'abord que l'énergie cinétique de la bille éjectée est nettement supérieure à celle envoyée. Cela s'explique par le fait qu'au moment où les billes magnétiques se lient entre elle, il y a un gain d'énergie de **101 mJ**.

Une première partie de cette énergie est alors convertie par la bille éjectée en énergie cinétique, ce qui lui donne une vitesse élevée par rapport à la vitesse de la bille envoyée qui était de 0,6 m/s. **21 mJ** sont alors utilisés. Mais il y a aussi une énergie de roulement qui permet à la bille de tourner sur elle-même, prélevant encore **17 mJ** à l'énergie initiale du bloc. Cependant, même en additionnant ces deux énergies, on obtient seulement **38 mJ** sur les **101 mJ** obtenus lors du choc.

La bille éjectée prélève également **2,2 mJ** pour s'extraire du bloc et **5,3 mJ** sont utilisés lors du recul du bloc.

On obtient alors ce résultat :  $101 \text{ mJ} = 21 + 17 + 2,2 + 5,3 + x$

$$101 \text{ mJ} = 45,5 + x$$

$$x = 101 - 45,5$$

$$x = 55,5 \text{ mJ}$$

Il nous manque donc toujours un peu plus de la moitié de l'énergie de départ. Mais nous continuons nos recherches en travaillant notamment sur l'influence des pôles des billes magnétiques.

Nous supposons également qu'une partie de l'énergie manquante se trouve dans la dissociation des différents groupes de billes. En effet, lorsqu'on regarde un pendule de Newton, on peut remarquer que la bille précédant celle éjectée, subit elle aussi un détachement.



Nous avons donc réalisé une expérience contenant un grand nombre de billes non aimantées et avons obtenu un résultat similaire. En effet, plusieurs groupes de billes se détachent. Il semblerait donc bien qu'une partie de l'énergie est utilisée lors du détachement de ces groupes. Cependant, nous n'avons pas encore eut le temps de faire des calculs plus approfondis.

