

« LA CITERNE EN VADROUILLE »¹

Émile Fillion et Alexandre Gauthier

Abstract

The issue of fuel overuse becomes more and more complicated over time, which is why it is important to dwell on it in order to find a solution. It is also crucial for people who want to go further into their comprehension of physics to not be satisfied about only learning theory and formulas, but also to experience it. That way, they'll be able to see if all the physics laws, that are true in theory, apply to something concrete. To combine these two previous aspects, we thought that it could be interesting and rewarding to register to an engineering contest called *Science, on tourne!* This year's challenge was to create an engine that is able to move quickly on a L-shaped track using only the potential energy contained in four mousetrap springs while carrying 1 L of water in a 2 L bottle. Therefore, after analysing everything, we came out with an idea of how we could build our engine and we issued four hypotheses so that we could go deeper into our study. The first one was that a differential transmission system was more efficient when it is located on the shaft than when it is located on the wheels. But, due to the choices made for the conception of the vehicle and given the complexity of the fabrication, we could not study that hypothesis. The second one was that it is more efficient to use a mousetrap spring by stretching it than by twisting it. The answer to that was found quickly because this kind of spring is not made to be stretched, so we didn't go that far into that hypothesis too. The third one was that our engine would be able to get an average of 400 points on a sample of 30 tries. It was invalidated when our results showed an average of 390,39 points with a range of 58 points, 19 times out of 20. The fourth one was that the energetic efficacy of our engine was the same as the transportation sector, which means that 25% of the potential energy is used to move. We were also able to invalidate this hypothesis because our results showed an efficacy of 7,4% and that it was significantly different of the transportation sector efficacy. To conclude, even if the results weren't what we expected, we are still able to say that this experimentation was rewarding for our knowledge.

Mots clés

Engin, physique mécanique, énergie potentielle des ressorts, énergie cinétique et efficacité énergétique.

Introduction

L'enjeu concernant la surutilisation des différents types de carburants provenant d'énergies non-renouvelables se complique davantage au fil du temps. La population

mondiale entière est concernée par cette situation. Ainsi, bon nombre de scientifiques s'y attardent quotidiennement afin de trouver une solution. Les carburants fossiles jouent un rôle important dans la détérioration de l'environnement en raison de son impact sur

¹ **Science on tourne!** [En ligne]. « Le concours scientifique intercollégial du Québec! » Page consultée le 13 mai 2022.

le réchauffement climatique planétaire. En effet, le secteur des transports est responsable de 25 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) au Canada (Internet 1).

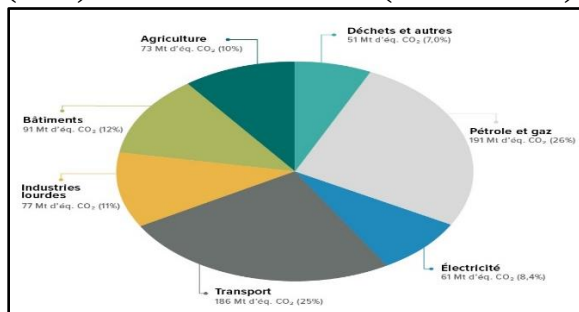


Figure 1. Répartition des gaz à effet de serre par secteur économique au Canada en 2019 (Internet 1).

Ce pourcentage, représentant le quart des émissions totales de GES, est beaucoup trop élevé, et ce, même si les automobiles électriques sont de plus en plus courantes. Il est donc possible de comprendre qu'il peut être complexe de cibler une source d'énergie pouvant être efficace sur la route et saine pour notre écosystème. Parmi les ressources énergétiques existantes, il serait intéressant d'étudier d'autres sources d'énergie non conventionnelles ou inexploitées. Par exemple, le concours *Science on tourne!* 2021-2022 (Internet 2) propose de s'attarder à l'énergie provenant des ressorts. Il s'agit d'une forme de stockage mécanique de l'énergie. Selon le type d'énergie servant à charger le ressort, celle-ci peut être peu nocive pour l'environnement et facilement retransformée en énergie cinétique. Plus précisément, le défi du concours *Science, on tourne! 2021-2022* consiste à construire un engin capable de se déplacer rapidement sur un trajet en L grâce à l'énergie contenue dans des ressorts de trappes à souris (Internet 2).

² Voir la section Matériel et méthodes pour la règle de calcul des points.

Suite à des réflexions sur les contraintes liées à la réalisation du concours *Science, on tourne!*, il a été possible d'émettre deux hypothèses sur le projet ;

- Un système de transmission différentiel est plus efficace s'il est situé sur l'arbre de transmission que s'il est situé sur les roues.
- Il est plus efficace d'utiliser l'énergie potentielle d'un ressort de trappe à souris en l'étirant qu'en le tordant.

Les choix faits pour la conception de l'engin et sa complexité ont fait en sorte d'écarter l'ajout d'une transmission différentielle, rendant caduque la première hypothèse. Par contre, deux autres hypothèses ont été testées;

- Notre engin est en mesure de faire plus de 400 points en moyenne sur un échantillon de 300 essais.²
- L'efficacité énergétique de notre bolide est égale à celle du secteur québécois des transports, c'est-à-dire que l'énergie utile au déplacement est de 25% de l'énergie totale (Internet 3)

L'énergie potentielle élastique dans les ressorts en torsion

L'énergie potentielle élastique correspond à l'énergie emmagasinée dans un certain objet élastique lorsque celui-ci n'est pas dans sa forme naturelle. Pour les ressorts, il s'agit de l'énergie accumulée dans ceux-ci lorsqu'ils sont compressés, étirés ou tordus. Le moment de force ($\vec{\tau}$) exercé par un ressort de constante de torsion (k) ayant été tordu à un angle (θ) est donnée par la formule suivante : $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = -k\vec{\theta}$. (Internet 4) De plus, en

intégrant la formule précédente par rapport au déplacement, on trouve l'équation de l'énergie potentielle élastique des ressorts en torsion. On sait que le travail est égal à moins la variation d'énergie potentielle, donc (Bédard, 2022) ;

$$\begin{aligned}
 W &= -\Delta U = U_i - U_f \\
 0 - U_f &= \int_0^\theta \tau x d\theta x \cos 0^\circ \\
 -U_f &= \int_0^\theta -k x \theta x d\theta x 1 \\
 -U_f &= -k \left[\frac{\theta^2}{2} \right]_0^\theta \\
 -U_f &= -\frac{1}{2} x k x \theta^2 \\
 U_f &= \frac{1}{2} x k x \theta^2
 \end{aligned}$$

L'énergie cinétique

L'énergie cinétique correspond à l'énergie contenue dans un objet qui est produite par son mouvement. Sa quantité varie selon deux facteurs qui sont la masse du corps et la vitesse (au carré) à laquelle celui-ci se déplace. ; $K = \frac{1}{2} mv^2$. (Séguin, 2010)

Le principe de conservation de l'énergie

En effet, l'énergie totale contenue dans un système isolé masse-ressort à un certain moment correspond à l'énergie mécanique et se détermine selon l'équation suivante : $E = K + U_r$. Dans toutes applications mécaniques ayant lieu sur Terre, on retrouve des forces non conservatives telles que le frottement ou toutes autres forces de poussée ou de traction effectuant un travail allant à l'encontre du mouvement de l'objet. Ce travail est ce qui empêche l'énergie mécanique d'être constante au courant de

l'action et équivaut à la variation d'énergie (ΔE) dans le système. Le principe de conservation de l'énergie est alors donné par la formule suivante : $E_f = E_i + W_{nc}$, où E_f est l'énergie mécanique finale, E_i l'énergie mécanique initiale et W_{nc} le travail non conservatif. (Séguin, 2010) Ce principe est important afin de comprendre le fonctionnement physique de l'engin. Au départ, étant donné que le véhicule est immobile, sa vitesse est nulle, ce qui fait en sorte que son énergie cinétique initiale l'est elle aussi. À ce même moment, le ressort en est à sa torsion maximale, donc l'énergie potentielle du système l'est elle-aussi. Après un certain laps de temps, le ressort a transmis toute son potentiel énergétique à l'engin, celui-ci étant à sa vitesse maximale. C'est alors l'énergie potentielle du ressort qui est nulle tandis que l'énergie cinétique, quant à elle, est à son apogée. Il faut toutefois être conscient que la somme énergétique finale n'équivaut pas à celle du départ, et ce, en raison du travail non conservatif effectué notamment par le frottement.

Le moment de force sur le bolide

Le moment de force correspond à la capacité d'une force à produire ou changer un mouvement de rotation d'un objet autour d'un axe. De plus, considérant une droite qui passe par l'axe de rotation et le point d'application de la force, seulement la composante perpendiculaire ($F_\perp$) à cette droite contribue au moment. Ainsi, le moment de force (τ) d'une certaine force ($F_\perp$) appliquée à une distance (r) entre l'axe et le point d'application est donnée par la formule suivante : $\tau = r \times F_\perp$. (Séguin, 2010) Sur le bolide, il y a plusieurs endroits où il est intéressant d'analyser le moment de force. Notamment, c'est le cas du déroulement de la corde qui se produit sur chacun des essieux

du véhicule. En se fiant à la formule, on remarque que pour mettre le bolide en marche, avec une même force, il est avantageux d'avoir un grand moment de force au début, donc un rayon plus grand, pour avoir une grande accélération. Par la suite, il est question de maintenir la vitesse acquise afin de parcourir la plus grande distance, ce qui est possible en diminuant le rayon. C'est le principe d'une transmission différentielle.

Matériel et méthodes

D'abord, la conception de l'engin a débuté par des croquis illustrant différentes idées et principes tout en s'assurant que le tout est réalisable. On a ensuite entamé la fabrication du bolide en taillant deux carrés identiques de 7,5 pouces de côté dans un morceau de bois recyclé. Ceux-ci ont été fixés à l'aide de plaques d'aluminium courbées à angles obtus afin d'obtenir la forme de corps désirée. Les essieux sont des tiges de métal d'un quart de pouce de diamètre qui permettent un bon compromis entre légèreté et solidité. Elles ont été fixées au corps de l'engin avec des blocs de téflon qui limitent la friction. Au départ, les roues arrière étaient constituées de disques, mais leur fragilité a fait en sorte de devoir opter pour des roues en acide polylactique (PLA). La partie avant du véhicule a été pensée de manière à lui permettre de tourner, ce pourquoi le diamètre des roues n'est pas le même. Elles étaient préalablement composées de pièces d'un jeu Meccano, mais un transfert vers un système plus grand constitué d'une roue en disque et d'une autre en téflon a permis de parcourir plus de distance. Par la suite, les quatre trappes à souris ont été réparties pour que le bolide ait accumulé autant d'énergie pour les deux mouvements à effectuer, c'est-à-dire,

deux à l'arrière du bolide et deux à l'avant. Encore une fois pour accentuer le déplacement de l'engin, le bras de pivot des pièges a été allongés puisque, selon la théorie sur le moment de force, un plus grand rayon produit une plus grande force et donc un plus grand travail. Initialement, notre idée était de placer un système différentiel en forme de cône sur l'essieu arrière, mais le temps et le matériel mis à notre disposition a fait en sorte de devoir abandonner l'idée d'une transmission différentielle et à choisir une autre alternative. La première solution était de placer des poulies industrielles, mais le résultat n'était pas optimal puisqu'on ne pouvait pas adapter le diamètre de celles-ci à la taille désirée. Ainsi, on a décidé de se tourner vers le ruban adhésif en papier vert utilisé par les peintres étant donné qu'il permet d'ajuster facilement le diamètre de l'essieu.

Une structure en forme de rail a été érigée en hauteur sur le bolide afin de permettre de soutenir la citerne (bouteille d'eau gazeuse contenant le litre d'eau). Ce système permet à la citerne de se déplacer vers l'avant pour faire basculer le bolide de sa propulsion arrière à sa propulsion avant. Le rail est composé d'un support à vêtement auquel des tiges de métal ont été soudés afin d'y offrir davantage de solidité. L'idée de départ était d'incliner le rail pour que la citerne se déplace par elle-même sur celui-ci. Toutefois, après une relecture des règlements du concours, cette idée a dû être abandonnée puisqu'une partie de l'énergie gravitationnelle servant à faire descendre la citerne est transférée au véhicule pour le faire avancer lorsque le chariot frappe la butée. Le rail a été ramené à l'horizontale et un moteur électrique relié à des engrenages lui donnant plus de force a été ajouté au véhicule pour

faire avancer la citerne qui se déplace sur le rail étant parallèle à l'engin. De surcroît, la citerne est déposée à l'intérieur d'un autre petit véhicule qui est fabriqué à partir d'un fond de bouteille fixé à un morceau de bois ayant des petites roues faites à partir de poulies industrielles.

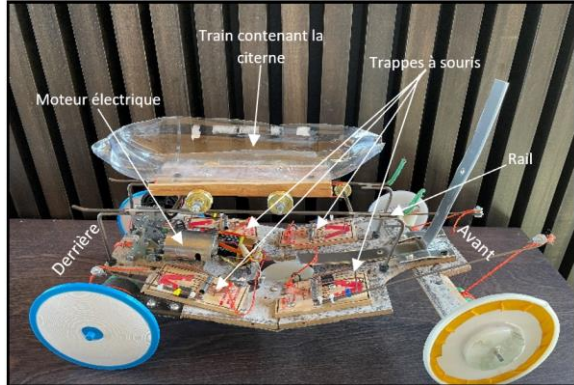


Figure 2. Image du véhicule final

L'expérience consistait à faire une trentaine d'essais de notre engin tout en s'assurant de chronométrer le temps et de déterminer la zone finale traversée par le bolide afin de compiler le pointage de chacune des tentatives (Données compilées en annexe). La formule utilisée pour compter le nombre de points d'un essai est la suivante : $P = \frac{Z_{jaune} + Z_{vert}}{T_{rouge}}$ (Internet 2).

Après avoir recueillis toutes ces données dans un logiciel Excel, une série de calculs ont été effectués afin de déterminer deux intervalles de confiance sur les points, une avec et une sans les tentatives échouées.

De plus, une autre expérimentation a été effectuée pour trouver la constante de torsion d'un ressort de trappe à souris. Comme on peut le voir sur la figure 3 le ressort a été placé de manière à pouvoir déterminer la force exercée en fonction de son angle par rapport à l'horizontale (Données compilées en annexe). En insérant les données obtenues dans le logiciel Excel et en effectuant le

graphique du moment de force ($|\vec{r}| |\vec{F}| \sin \theta_{\vec{r}\vec{F}}$) en fonction de l'angle de rotation (rad), il est possible de déterminer la constante de torsion du ressort. En effet, elle correspond à la valeur négative de la pente de ce graphique. Il est à noter qu'un souci particulier a été accordé à garder l'angle entre $\vec{r}$ et $\vec{F}$ à 90° tout au long de l'expérience, pour les différents angles de torsion.

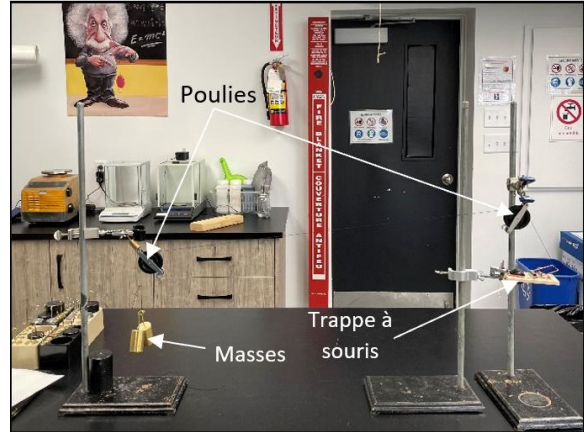


Figure 3. Système masse-ressort

Résultats

Le tableau 1 contient les résultats des calculs effectués à partir des données recueillies lors des trente répétitions du parcours. On y retrouve notamment la moyenne de points récoltés et l'intervalle de confiance de points qui a été calculé à partir de la loi normale grâce au théorème centrale limite. Celui-ci stipule qu'il est possible d'utiliser la loi normale sur un échantillon de plus de 30 données. De surcroît, afin de rendre l'analyse davantage intéressante, une autre moyenne et un autre intervalle de confiance a été calculée en utilisant seulement les essais réussis. Cependant, cette fois-ci, il a fallu utiliser la loi de Student puisque l'échantillon était trop mince. Par la suite, un pourcentage d'efficacité a été calculé selon le rapport suivant : $\frac{\text{nombre d'essais atteignant la zone verte}}{\text{Nombre d'essais total}}$.

Tableau 1. Moyennes de point, intervalles de confiance des essais et pourcentage d'efficacité.

Essais utilisés	Tous les trente essais	Essais réussis seulement
Moyenne de points	390	460
Intervalle de confiance de points	[330;450]	[450;480]
Pourcentage de réussite	83%	

On retrouve dans le tableau 1 la constante de torsion du ressort de trappe à souris qui est d'une valeur de $0,21 \pm 0,03 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{rad}$. La droite a été choisie, même s'il y a une légère courbe, puisque la théorie prévoit une relation linéaire entre le moment de force et l'angle de torsion, et qu'il y a une bonne corrélation linéaire entre les deux valeurs à l'étude étant donné que le coefficient de détermination du graphique est de 0,9697.

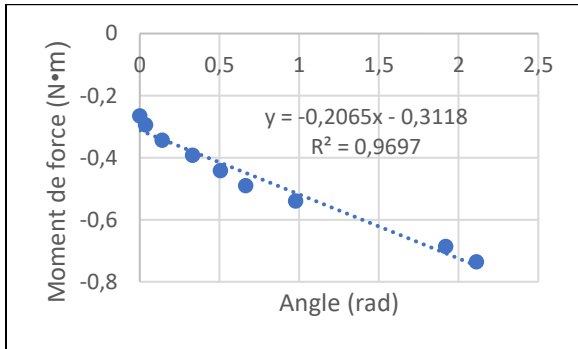


Figure 4. Graphique du moment de force du ressort en fonction de l'angle par rapport à l'horizontale.

Le tableau 2 contient les données nécessaires à l'analyse de l'efficacité énergétique du bolide : L'énergie cinétique moyenne résultant de la première partie du parcours, délivrée par les ressorts de la propulsion arrière, ce pour l'ensemble des essais, l'énergie potentielle emmagasinée dans les ressorts au départ, ainsi que le rapport d'énergie utile en pourcentage. De plus, il est possible de voir le z_{obs} permettant de faire le test sur l'hypothèse nulle que l'efficacité

énergétique de l'engin est égale à celle du secteur des transports. Le test a également été pu faire en suivant le principe de la loi normale puisque la grandeur de l'échantillon le permettait.

Tableau 2 : Efficacité énergétique du véhicule et test d'hypothèse.

Essais utilisés	Tous les trente essais
Énergie cinétique moyenne	0,1517 J
Énergie potentielle élastique	2,0381 J
Pourcentage d'efficacité de l'engin	7,44 %
z_{obs}	-2,22

Discussion

D'abord, l'hypothèse concernant l'étirement et la torsion d'un ressort de trappe à souris a pu être répondu en effectuant un simple test d'étirement sur celui-ci. Il a été possible de constater que ce type de ressort n'est pas conçu pour résister à de telles forces. Ainsi, il n'a pas été possible de faire la comparaison entre l'étirement et la torsion des ressorts et donc, de confirmer ou infirmer la deuxième hypothèse.

Ensuite, il est possible de vérifier la troisième hypothèse en analysant le tableau 1. Selon nos suppositions de départ, notre engin final serait en mesure de comptabiliser une moyenne supérieure à 400 points sur un échantillon de 30 essais. Selon les résultats de notre expérimentation, notre véhicule est en mesure de conservé une moyenne de 390 points avec une marge d'erreur de 60 points, 19 fois sur 20. On remarque ainsi que notre véhicule n'est pas assez efficace pour qu'on soit certain d'obtenir un score supérieur à la

marque souhaité de 400 et donc, on peut infirmer la seconde hypothèse. Cependant, comme il est possible de voir dans la deuxième moitié du tableau 1, le résultat est complètement différent si les quelques essais échoués ne sont pas comptabilisés dans les calculs. Effectivement, la moyenne de points passe à 460 avec une marge d'erreur de 15, ce qui est beaucoup plus élevé et précis que la précédente. On remarque alors que le principal défaut de l'engin est son manque de constance puisque sur 30 tentatives, il a su atteindre la fin du parcours à 83%. Cela semble à première vue être un pourcentage d'efficacité appréciable, mais comme on peut le remarquer plus haut, l'impact d'un essai échoué est important. Le manque de fiabilité de notre engin s'explique par de nombreux facteurs. Parmi ceux-ci, il y a l'épuisement quasi-instantané de la batterie 9 V branché au moteur électrique servant à transporter la citerne vers l'avant. Cela est cruciale pour la réussite d'un essai, étant donné que si la batterie ne transfère pas suffisamment d'énergie au moteur, celui-ci ne sera pas en mesure de propulser la citerne assez rapidement et l'essai sera à refaire. De plus, la fragilité de l'actionnement d'une trappe à souris peut également causer l'échec d'un essai. En effet, à maintes reprises, l'activation des pièges à souris du derrière de l'engin mettait en fonction celles du devant avant même le transfert du centre de masse vers les roues d'en avant, causant ainsi une perte significative d'énergie préalablement accumulée. Ces causes de défaillance n'en sont que deux parmi plusieurs autres qui causent l'inconstance de notre engin.

Par la suite, notre quatrième hypothèse était que le quart de l'énergie potentielle élastique contenue dans les deux ressorts reliés à l'essieu arrière allaient être transféré en

énergie cinétique, comme c'est le cas pour le pourcentage basé sur l'efficacité énergétique du secteur des transports au Québec (Internet 3). Étant donné que l'énergie potentielle accumulée dans les ressorts ne sert qu'à la propulsion, contrairement aux véhicules routiers où beaucoup d'énergie peut aller au chauffage ou à la climatisation, il est raisonnable de penser que cela sera bien le cas. Selon les résultats, 2,0381 J d'énergie potentielle est accumulée dans les ressorts avant le départ et seulement 0,1517 J est utilisée en moyenne pour permettre le déplacement du véhicule. Cela représente un pourcentage d'efficacité énergétique de 7,4 %. Pour savoir si cette fraction est significativement différente à celle du monde des transports, il a fallu utiliser le théorème centrale limite qui permet d'utiliser la loi normale pour faire un test d'hypothèse. Le valeur critique pour que l'hypothèse nulle soit rejeter lorsqu'on utilise la loi normale est de $\pm 1,96$. Dans notre cas, le z_{obs} était de - 2,22, ce qui veut dire que l'hypothèse nulle est rejeter de même que notre quatrième hypothèse, avec un niveau de confiance de 19 fois sur 20. Cela peut s'expliquer par plusieurs éléments n'ayant pas été pris en considérations lors de la construction et de l'analyse des données. Notamment, ce qui semble avoir été le facteur déterminant dans la perte d'énergie est le frottement au niveau des arbres de transmission et des roues. Cela a pu être confirmé en donnant une poussée au véhicule et en remarquant la faible distance parcourue de façon autonome par celui-ci. De plus, il est important de souligner que le mouvement de l'eau dans la bouteille vers l'arrière lors de l'accélération cause un ralentissement du bolide et donc une perte significative d'énergie. Il est également important de mentionner qu'à quelques reprises, on a pu observer un manque

d'adhérence des roues arrière lors du départ, ce qui provoque une fuite d'énergie considérable. De surcroît, lors du calcul de l'énergie potentielle élastique, l'angle qui a été utilisé est de 180° . Toutefois, en se fiant aux bandes vidéo, on remarque que la trappe n'est pas efficace pendant tout le mouvement de demi-rotation, car l'angle entre $\vec{r}$ et $\vec{F}$ n'est pas de 90° en tout temps. Il est alors évident que l'énergie potentielle contenue dans les deux ressorts a été surestimée, ayant des conséquences directes sur nos données. De même, l'énergie cinétique calculée a été sous-estimée puisqu'il aurait fallu considérer l'énergie cinétique ayant été transférée aux roues. Celle-ci a toutefois été négligée puisque le rapport de la masse des roues sur la masse totale du véhicule n'est pas suffisamment important pour avoir un impact perceptible sur nos résultats.

Conclusion

Somme toute, étant donné la complexité de la fabrication et de l'optimisation de notre bolide pour la finale nationale de *Science, on tourne!*, il n'a pas été possible de vérifier l'intégralité de nos hypothèses de départ. En effet, on a dû oublier la partie concernant les systèmes de transmissions différentielles sur l'essieu et les roues. Pour combler ce manque de profondeur au niveau de l'analyse, on a dû mettre en place des hypothèses pouvant être évalués dans le laps de temps mis à notre disposition.

Pour ce qui est de la deuxième hypothèse qui était qu'il est plus efficace d'utiliser l'énergie potentielle d'un ressort de trappe à souris en l'étirant qu'en le tordant, la réponse à la question fut vite répondue puisque ce type de ressort fonctionne seulement par torsion. Effectivement, un léger étirement de celui-ci provoque un changement physique

irréversible et donc l'incapacité de fournir de l'énergie à un système. Cette hypothèse est donc infirmée.

La troisième hypothèse était que notre engin est en mesure de faire plus de 400 points en moyenne sur un échantillon de 30 essais. Celle-ci a pu être infirmée puisque selon les résultats de notre expérimentation, en moyenne notre véhicule fait 390,39 points. L'inconstance du véhicule explique ce résultat puisqu'une autre moyenne comptabilisant seulement les essais réussis a été calculée et sa valeur était significativement supérieure à 400.

La quatrième hypothèse était que l'efficacité énergétique de notre bolide est égale à celle du secteur québécois des transports, c'est-à-dire que l'énergie utile au déplacement est de 25 % de l'énergie totale. Cette-ci a également été infirmée puisque selon nos données récoltées, en moyenne, seulement 7,4 % de l'énergie potentielle des deux ressorts arrière est convertie en énergie cinétique pour parcourir la première ligne droite. De surcroît, un test d'hypothèse suivant la loi normale est venu confirmer que notre pourcentage d'efficacité est significativement différent de celui du secteur québécois des transports, 19 fois sur 20.

Le parcours de notre activité synthèse de programme s'est terminé d'une bonne façon grâce à une performance satisfaisante lors de la finale nationale de *Science, on tourne!* En effet, un pointage final de 394 points a permis de terminer en 9^e position parmi tous les cégeps en compétition.



Figure 5. Photographie lors de la finale nationale de *Science on tourne!*

Suggestions et perspectives d'avenir

Pour des étudiants passionnés de physique et d'ingénierie, plusieurs améliorations à notre activité synthèse de programme sont possibles afin d'obtenir des résultats plus satisfaisants et approfondis.

Notamment, il serait intéressant d'analyser l'hypothèse des systèmes différentiels en forme de cône qu'on a dû mettre de côté par manque de temps. En effet, cette alternative serait idéale pour obtenir le plus d'accélération au départ et le plus de distance par la suite.

De plus, suite à nos observations des véhicules les plus efficaces de la finale nationale, il serait judicieux de placer les quatre ressorts en série pour fournir le maximum d'énergie en début de parcours. Il s'avère également qu'en effectuant quelques calculs trigonométriques, il est possible d'obtenir la courbe idéale que le bolide doit prendre pour finir son parcours dans la zone verte, et ce, de manière constante. Ainsi, il ne serait pas nécessaire de faire un engin en deux parties et donc de devoir penser à un système pour faire déplacer le centre de masse.

Pour conclure, un autre aspect qui pourrait être envisagé est l'impression de l'engin à

l'aide d'une imprimante 3D. Cela permet d'effectuer exactement les pièces souhaitées, de réduire le poids du véhicule et de réduire le frottement. Il s'agit également d'une méthode permettant un résultat esthétique.

Remerciements

Nous voulons d'abord remercier M. Jean Bédard qui a été d'un soutien constant tout au long de notre projet, sans lui rien de tout cela aurait été possible. On tient également à remercier M. Jean-Norbert Fournier qui a été présent pour répondre à toutes nos interrogations au courant de notre parcours. De surcroît, on veut remercier M. Jean Filion de son apport au niveau des connaissances en mécanique et en ingénierie ainsi que pour son support moral au courant des manipulations interminables. Nous voulons également remercier M. Martin Imbeault pour son implication dans le concours *Science, on tourne!*, la fabrication de nos roues arrières en impression 3D et son prêt de matériel pour la fabrication de l'engin. Nous voulons remercier le Centre d'études collégiales à Chibougamau de nous permettre d'effectuer de si belles expériences qui sont enrichissantes pour notre futur rempli d'ambitions.

Médiagraphie

Internet 1 : **Gouvernement du Canada**. [En ligne]. « Plan de réduction des émissions pour 2030 : Prochaines étapes du Canada pour un air pur et une économie forte » Page consultée le 13 mai 2022.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Champ_magn%C3%A9tique_terrestre

Internet 2 : **Science on tourne!** [En ligne]. « Le concours scientifique intercollégial du Québec! » Page consultée le 13 mai 2022.

<https://scienceontourne.com/>

Internet 3 : **roulezélectrique.com**. [En ligne]. « AUTO ÉLECTRIQUE, AUTO À ESSENCE : PARLONS UN PEU D’EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE » Page consultée le 13 mai 2022.

<https://roulezelectrique.com/auto-electrique-auto-a-essence-parlons-un-peu-defficacite-energetique>

Internet 4 : **Stringfixer** [En ligne]. « Ressort en torsion » Page consultée le 13 mai 2022.

https://stringfixer.com/fr/Torsion_pendulum

BÉDARD, J., enseignant en physique au Centre d’études collégiales à Chibougamau. « **Résumé de conversation** ». Chibougamau, 13 mai 2022.

SÉGUIN, M., DESCHENEAU, J. & TARDIF, B., (2010). **Physique mécanique**. Les Éditions du Renouveau Pédagogique Inc., Saint-Laurent, 587 pages.

Annexes

Tableau 3 : Masse de l'engin et constante de torsion expérimentale des ressorts.

Masse (kg)	Constante de torsion (N/rad)
1,75 ± 0,01	0,21 ± 0,03

Tableau 4 : Données recueillies et calculées lors des 30 essais du véhicule.

Essaie	Temps (s)	Points zone	Points total	Vitesse moyenne (m/s)	Énergie cinétique (J)	Énergie potentielle (J)
1	2,12	1100	520	0,47	0,19	2,04
2	2,19	1100	503	0,46	0,18	2,04
3	2,11	100	48	0,47	0,20	2,04
4	2,26	1100	488	0,44	0,17	2,04
5	2,15	1100	513	0,47	0,19	2,04
6	2,62	100	39	0,38	0,13	2,04
7	2,48	1100	445	0,40	0,14	2,04
8	2,36	100	43	0,42	0,16	2,04
9	2,28	1100	483	0,44	0,17	2,04
10	2,27	1100	486	0,44	0,17	2,04
11	2,14	1100	515	0,47	0,19	2,04
12	2,50	1100	441	0,40	0,14	2,04
13	2,45	1100	450	0,41	0,15	2,04
14	2,69	1100	410	0,37	0,12	2,04
15	2,50	1100	441	0,40	0,14	2,04
16	2,73	100	38	0,37	0,12	2,04
17	2,47	1100	446	0,40	0,14	2,04
18	2,54	1100	434	0,39	0,14	2,04
19	2,18	1100	506	0,46	0,18	2,04
20	2,20	1100	501	0,45	0,18	2,04
21	2,67	1100	413	0,37	0,12	2,04
22	2,44	1100	452	0,41	0,15	2,04
23	2,56	1100	431	0,39	0,13	2,04
24	2,71	100	38	0,37	0,12	2,04
25	2,49	1100	443	0,40	0,14	2,04
26	2,53	1100	436	0,40	0,14	2,04
27	2,78	1100	397	0,36	0,11	2,04
28	2,37	1100	465	0,42	0,16	2,04
29	2,40	1100	459	0,42	0,15	2,04
30	2,57	1100	429	0,39	0,13	2,04

Tableau 5 : Données recueillies lors du test de la constante de torsion des ressorts.

Masse (kg)	angle (Degré)	angle(rad)	moment de force
0,27	0	0	-0,264735
0,3	2	0,03490659	-0,29415
0,35	8	0,13962634	-0,343175
0,4	19	0,33161256	-0,3922
0,45	29	0,50614548	-0,441225
0,5	38	0,66322512	-0,49025
0,55	56	0,97738438	-0,539275
0,7	110	1,91986218	-0,68635
0,75	121	2,11184839	-0,735375

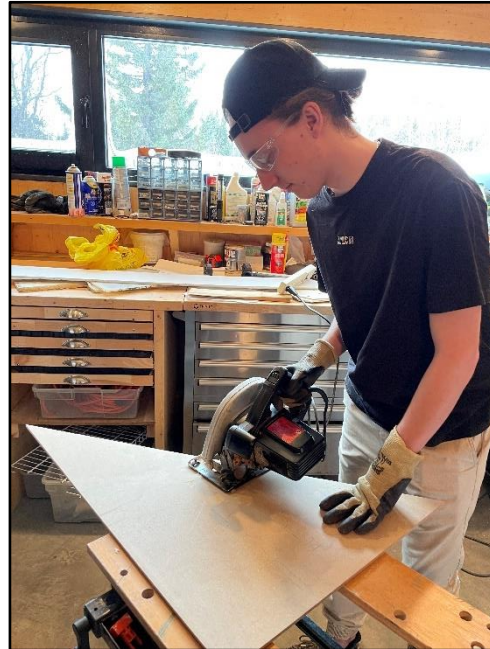


Figure 6-7. Fabrication du bolide.