
RÉCUPÉRATION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE À PARTIR DES DOS D'ÂNES


AKAR Oussama
SCEI : 15524

MOTIVATION

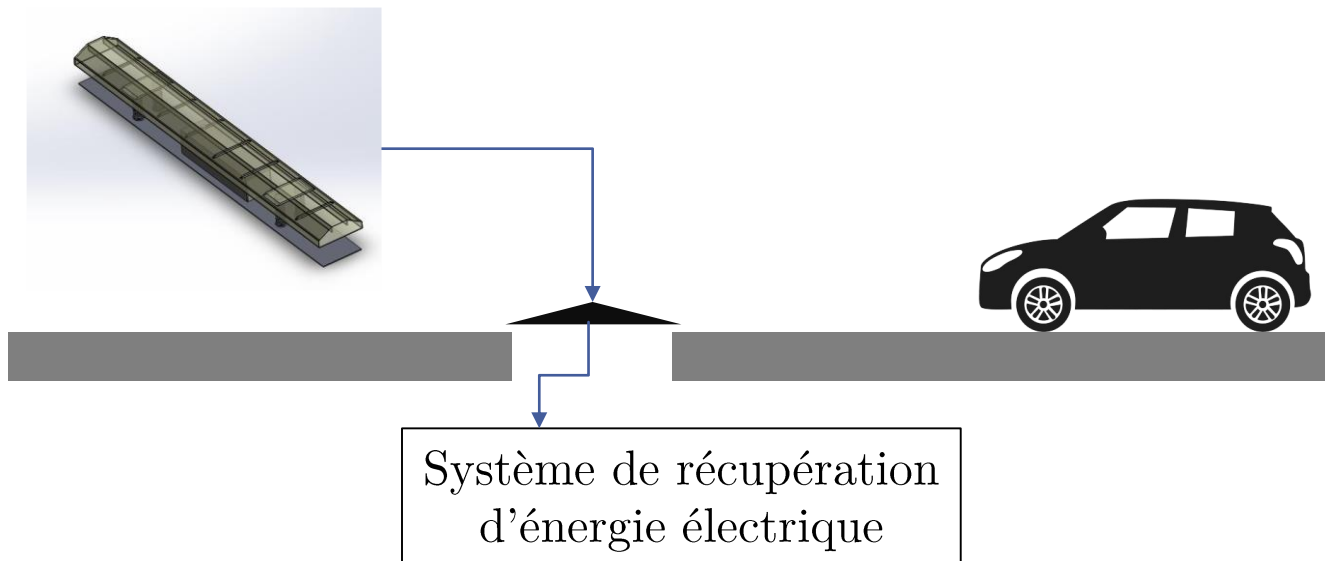


Dans ma ville natale (Chefchaouen), l'éclairage public est un problème qui persiste depuis des années, comme le montre l'image ci-contre que j'ai prise au centre ville le 16/02/2023.

Un lampadaire sur cinq est allumé

- 
- Plusieurs solutions sont possiblement utilisables à l'égard de ce problème, notamment les panneaux solaires. Mais la météo dans Chefchaouen est généralement nuageuse et donc il ne serait pas utile de les implémenter.
 - Donc la recherche d'autres systèmes est indispensable pour la résolution de ce problème.

Le système étudié vise à récupérer une énergie électrique à l'issue du passage des voitures sur un dos d'ânes.



PROBLÉMATIQUE ET PLAN

Nous nous proposons dans ce qui suit de répondre à la problématique suivante :

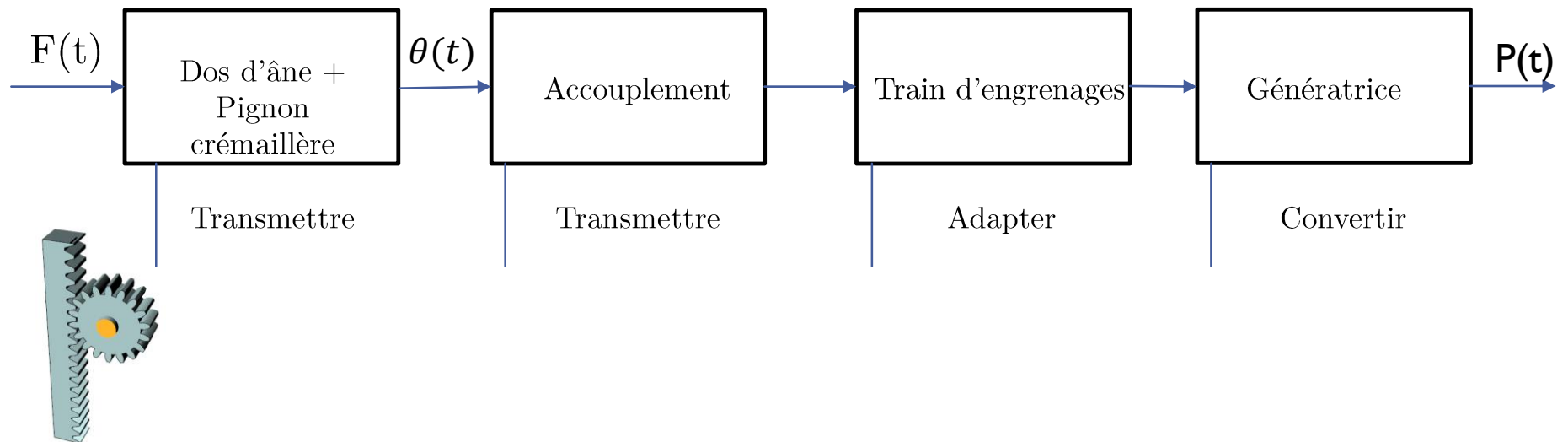
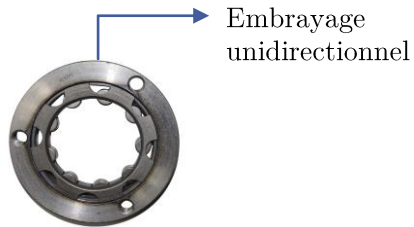
Comment restituer de l'énergie électrique à partir d'un dos d'âne équipé par un système de récupération d'énergie à pignons et crémaillères ? Et est-ce efficace pour assurer l'autonomie de l'éclairage public ?

PLAN

Nous allons essayer d'aborder cette problématique avec le plan suivant :

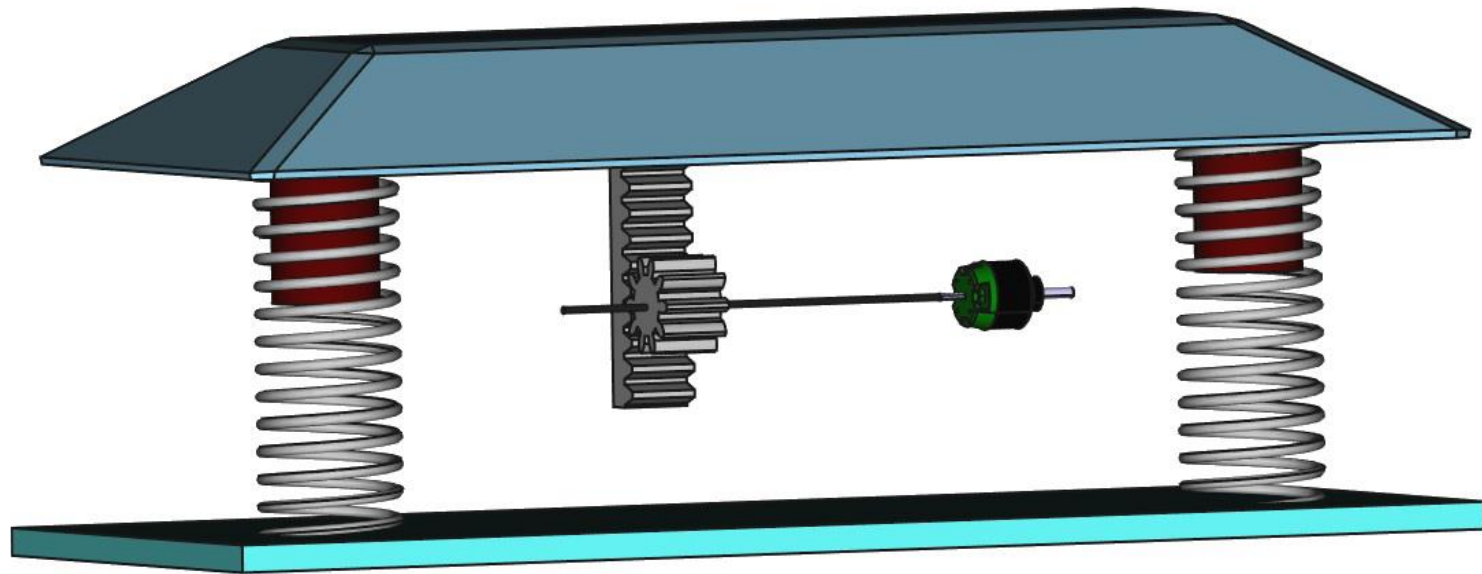
- I - Décrire et modéliser le système étudié
- II - Établir les équations de mouvement du système
- III- Estimer l'énergie fournie par le système et conclure quant à son utilité
- IV- Comparaison avec un système piézoélectrique

Chaîne d'énergie du système :



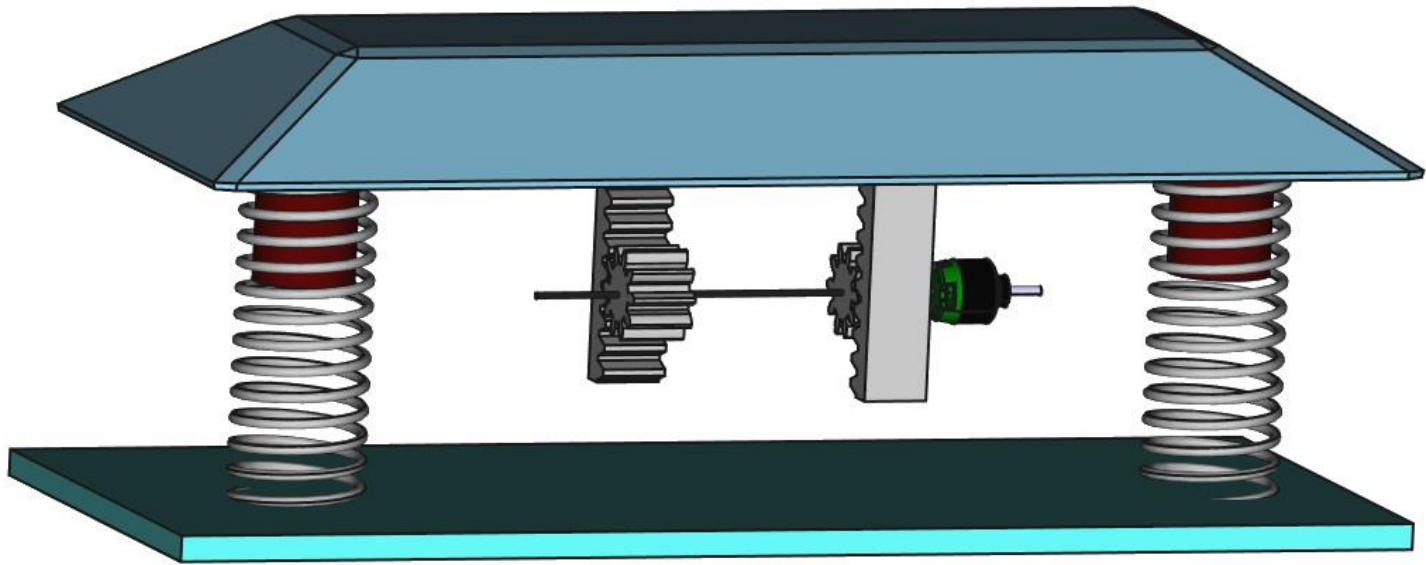
Première proposition du système mécanique :

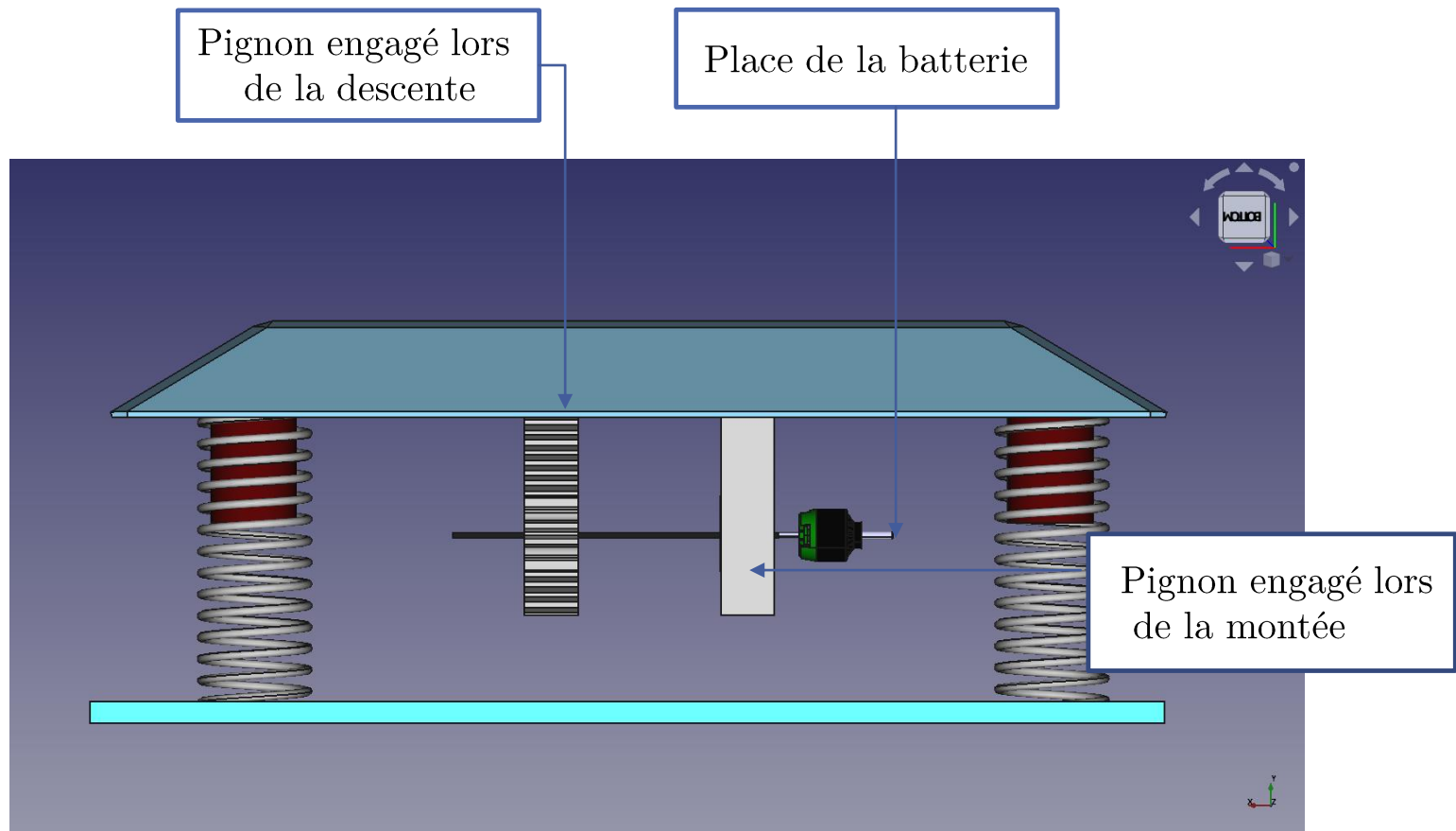
-Ce modèle ne requiert pas l'usage d'un embrayage unidirectionnel, mais à sa place l'utilisation d'un circuit redresseur.



Deuxième proposition du système mécanique :

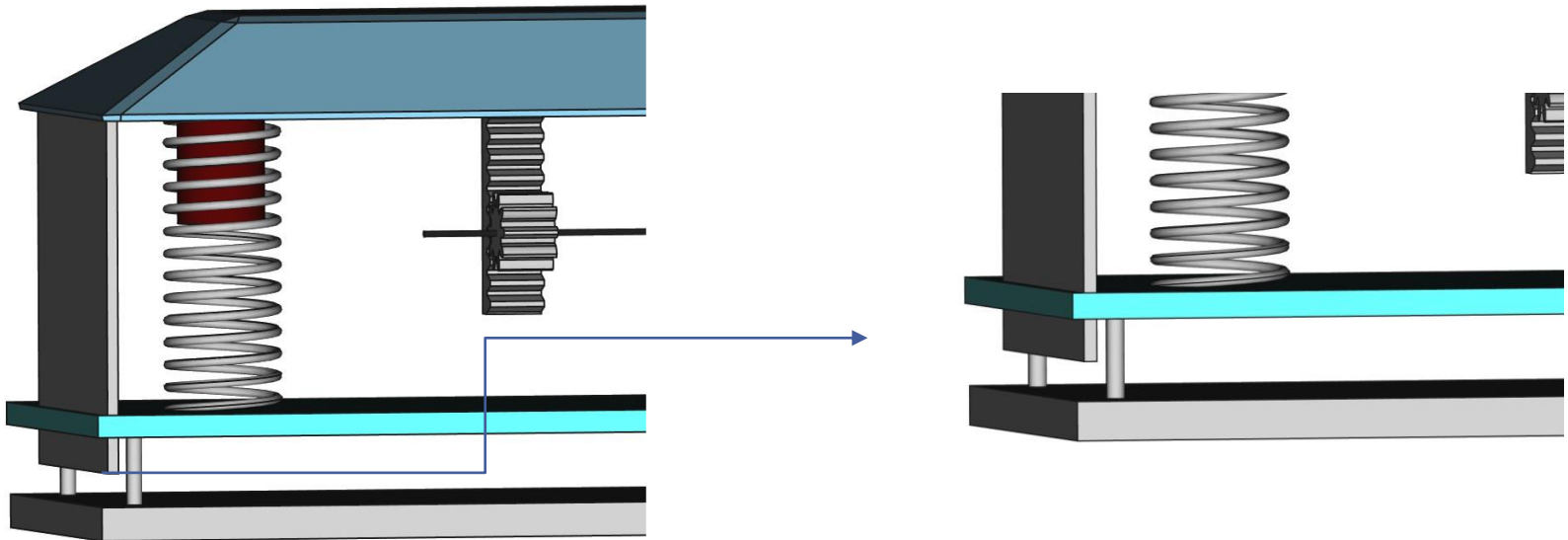
-À chaque pignon est associé un embrayage unidirectionnel : l'arbre moteur tourne donc dans un même sens.



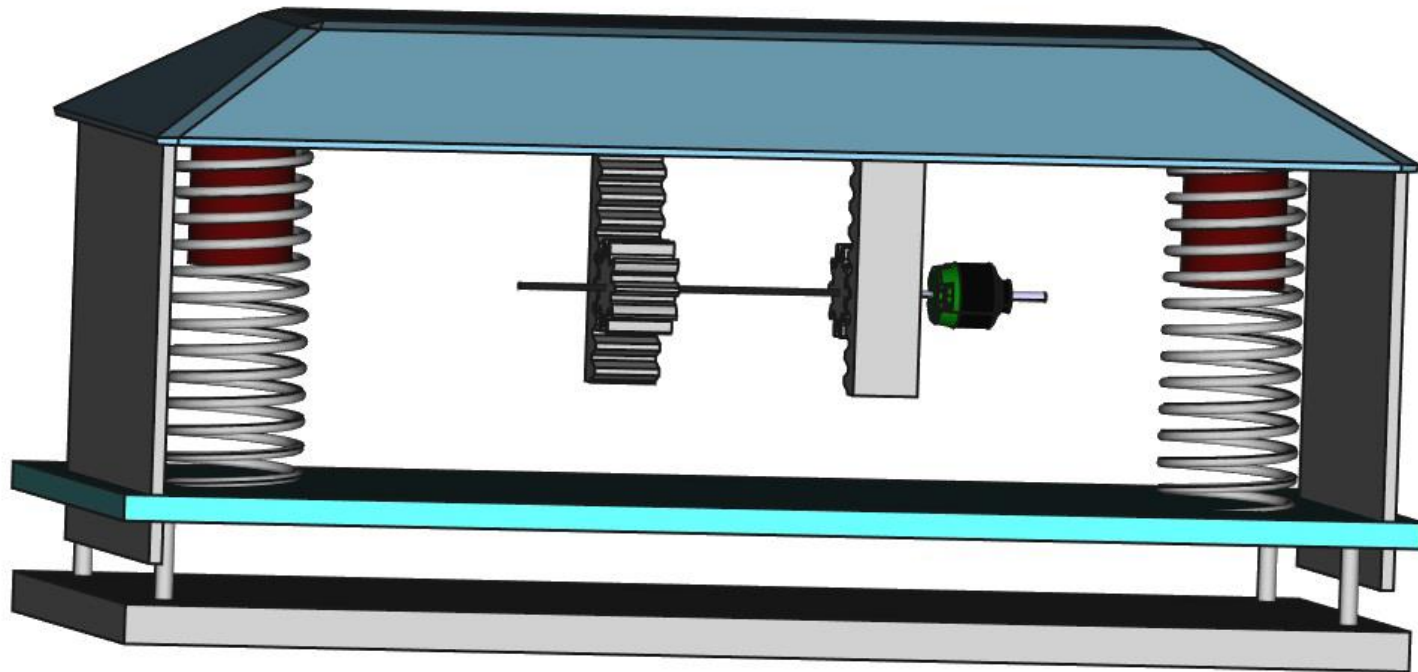


Pour les deux propositions :

Il est nécessaire de guider le dos d'âne en translation :



Pour notre étude, nous supposons qu'il y a un seul pignon (car chacun est engagé dans une phase de mouvement)



CONDITION SUR LE RESSORT

Pour que le dos d'âne fonctionne comme souhaité. Il doit revenir à sa position d'équilibre avant l'arrivée de la deuxième roue :

Il faut au minimum avoir une période propre $T_0 < T$

Où T est le temps nécessaire pour que la deuxième roue atteigne le dos d'âne

$$K > \frac{4\pi^2 M}{T^2}$$

Modélisation de la première proposition de système :

Indexation des variables :

p : Pignon crémaillère

d : plateau du dos d'âne

r : le rayon du pignon

C : les couples

n : le coefficient de réduction du train
d'engrenages

$i(t)$: le courant dans la génératrice

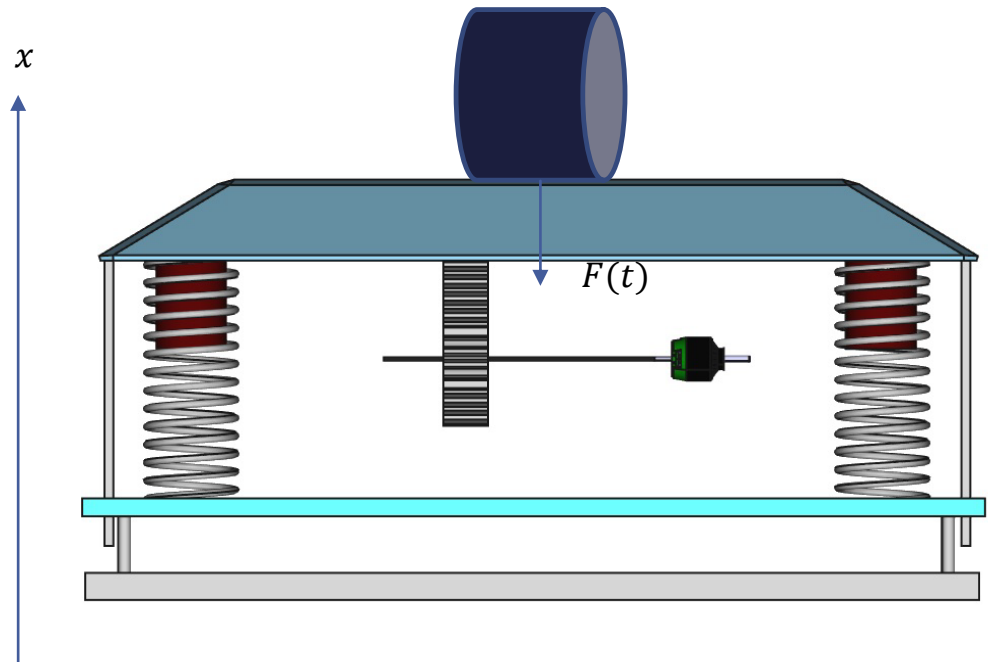
k, k' : des constantes caractérisant la génératrice

R_i : la résistance interne de la génératrice

K_b : la constante de raideur du ressort

équivalent aux ressorts qui portent le plateau

J : moment d'inertie

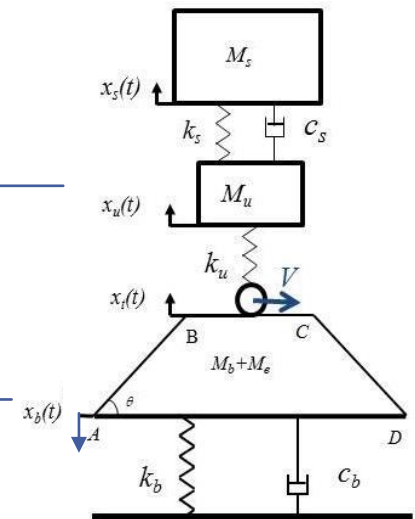


- $F(t) = \begin{cases} m_{voit}g & \text{Si une voiture est sur le dos d'âne} \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$

- On négligera la courbure du dos d'âne

- On note $R(t)$ la force résistante du pignon.

- Et $x(t)$ est l'emplacement du dos d'âne.



Détermination des équations de mouvement :

En supposant le problème plan, et en appliquant le principe fondamental pour le plateau du dos d'âne :

Tout d'abord : on a déjà : $x_p = \theta_p r$

Et
$$(M_d + M_{éq}) \ddot{x}_d = F(t) - K_b x_d + R(t)$$

- Enfin, les équations de la génératrice : $C_g = k i(t)$ et $E = k' n \dot{\theta}_g$

En posant, $M_{éq} = \frac{J_p + J_g n^2}{r^2}$ et $C = \frac{k k' n^2}{r^2 R_i}$

L'équation devient : $(M_d + M_{éq})\ddot{x} + K_b x + C \dot{x} = F(t)$

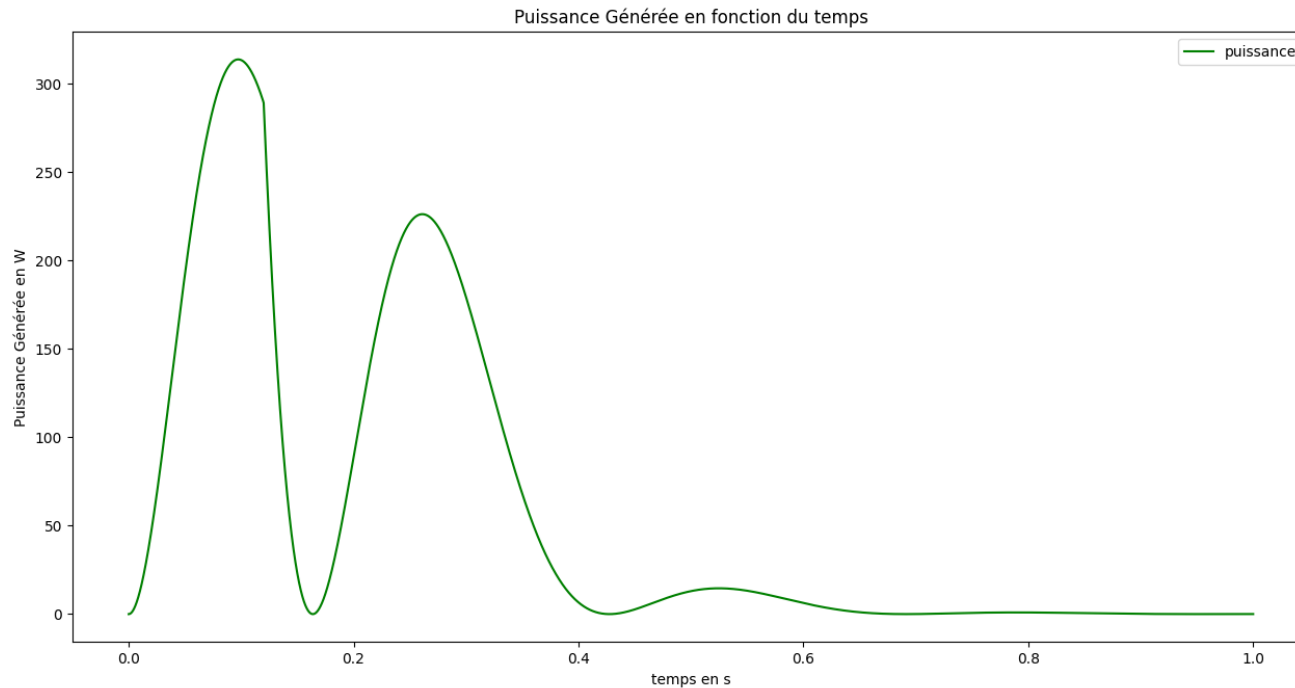
Le temps pendant lequel $x = x_{max}$ et la voiture est encore sur le dos d'âne ne nous intéresse pas dans cette partie d'étude il va être omis de la résolution numérique.

ESTIMATION DE L'ÉNERGIE

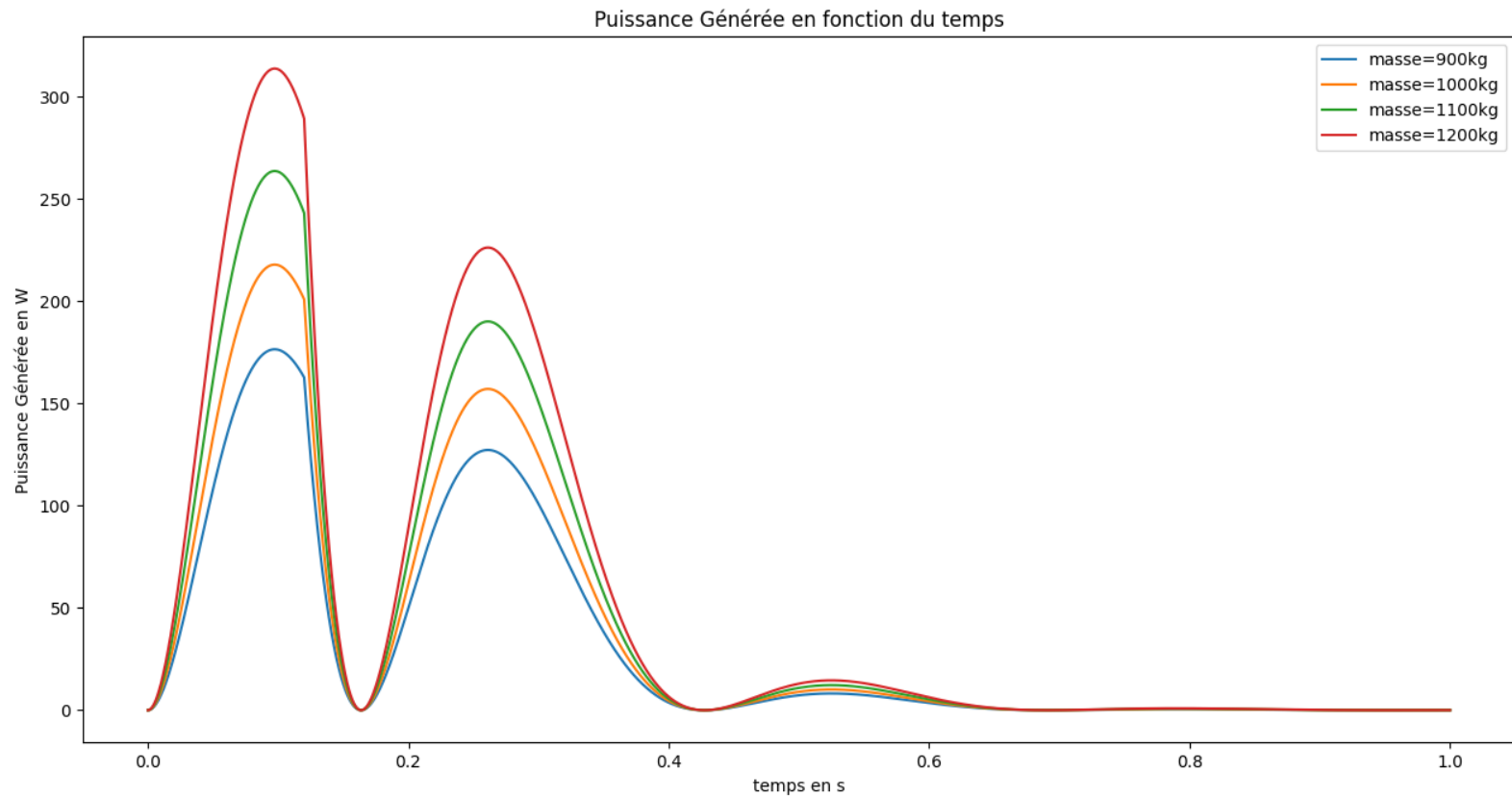
La puissance électrique fournie à la sortie du moteur :

$$P = C_{g\acute{e}n} \dot{\theta}^2 = C \dot{x}^2$$

Afin de calculer l'énergie électrique fournie, on a besoin de tracer et d'intégrer la fonction $P(t)$.



Bien entendu, la puissance augmente avec l'augmentation de la masse.



Or l'énergie fournie par le passage d'une voiture est donnée par :

$$E = 2 \int_0^1 P(t) dt$$

pour une masse=1400kg
→
(code en annexe)

```
>>> (executing file "Code Python TIPE AKAR Oussama.py")  
173.34164606904343 En joule
```



Interprétation des courbes obtenues :

- La durée pour que le dos d'âne revienne à sa position initiale est pertinente. En effet il revient dans une durée permettant d'exploiter le passage des deux roues d'avant et d'arrière.
- Certes, la puissance maximale est importante. Cependant la durée du pic est relativement courte ce qui compromet la quantité d'énergie accessible.

ESTIMATION DE L'UTILITÉ DU SYSTÈME

L'énergie nécessaire pour allumer un lampadaire LED de 40watt durant 8 heures :



$$E = 1.15MJ$$

Si on suppose qu'au moyen les voitures sont de masses égales à 1400kg, avec un débit de 22 milles voitures par jour.

Alors l'énergie totale fournie durant un jour par le système dans le lieu d'utilisation est :

$$E_{totale} = 3.81MJ$$

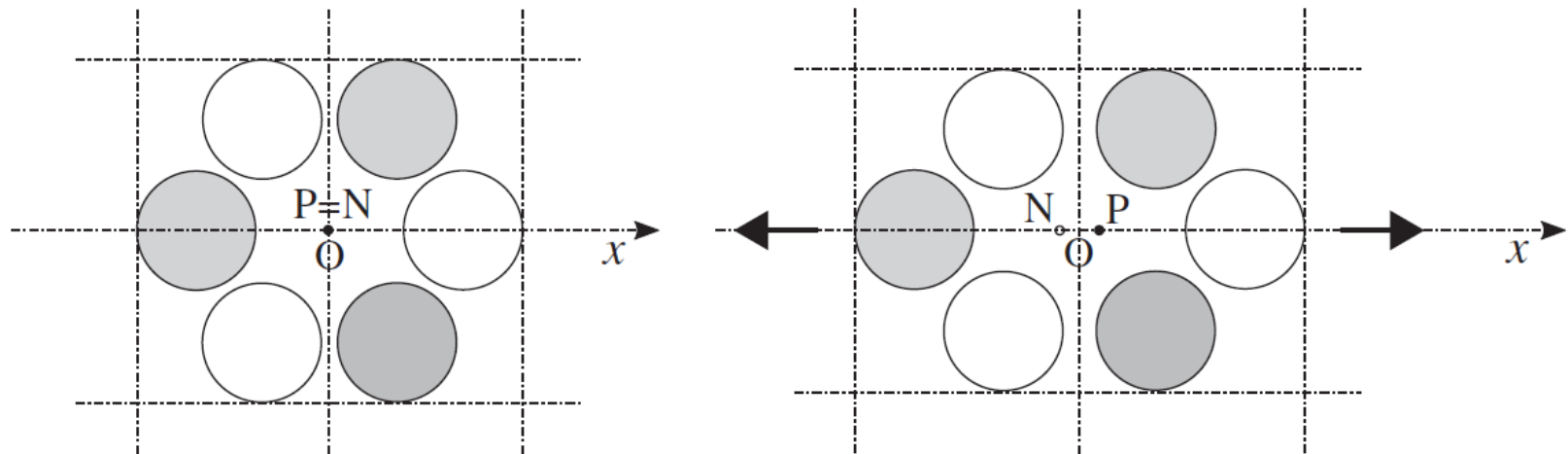


Donc, si on ne tient pas compte de l'efficacité du système de stockage ni des pertes possibles :

- On peut allumer jusqu'à 3 lampadaires par un tel système.

INTRODUCTION AU SYSTÈME PIÉZOÉLECTRIQUE

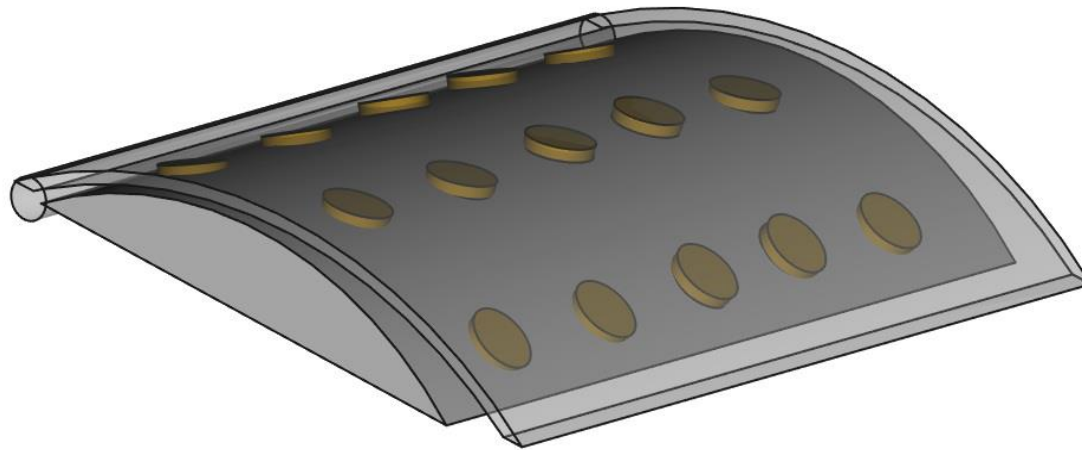
Une autre idée de système qui peut être implémentée dans le dos d'âne est l'exploitation de l'effet piézoélectrique qui est la propriété que possèdent certains matériaux de se polariser sous l'action d'une contrainte mécanique, et réciproquement de se déformer lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique.



(a) Maille non déformée (état de référence)

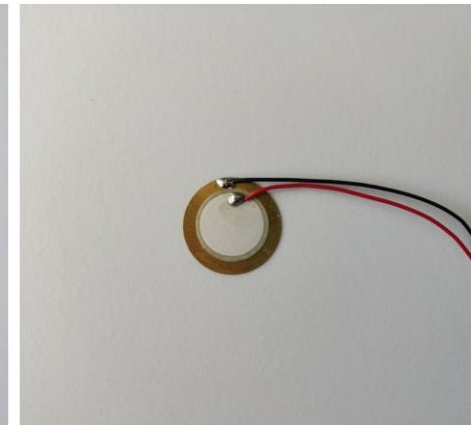
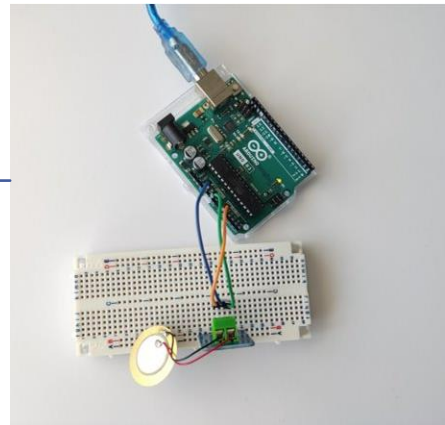
(b) Maille étirée selon l'axe (O, x)

- On teste le remplacement du plateau ordinaire par un plateau équipé par des lames piézoélectriques.



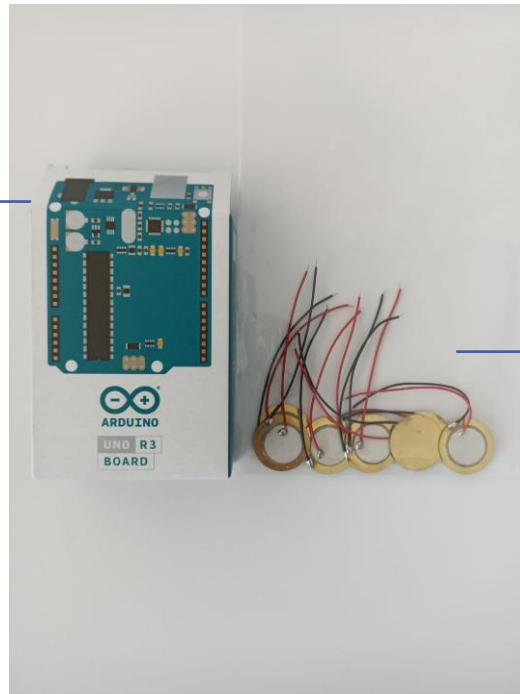
PARTIE EXPÉRIMENTALE ET SIMULATION

Étude expérimentale
de la composante
piézoélectrique du
système



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET SIMULATION DU SYSTÈME PIÉZOÉLECTRIQUE

Acquisition par une
carte 'Arduino'

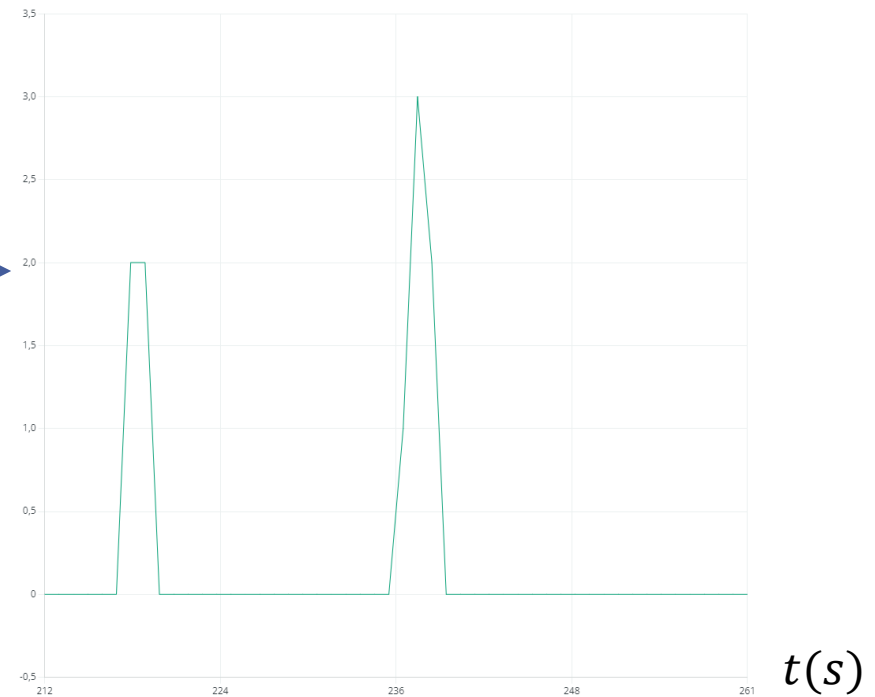


Matériau testé

Nous utilisons une lame toute seule, sur laquelle on applique une force de poussée de doigt.

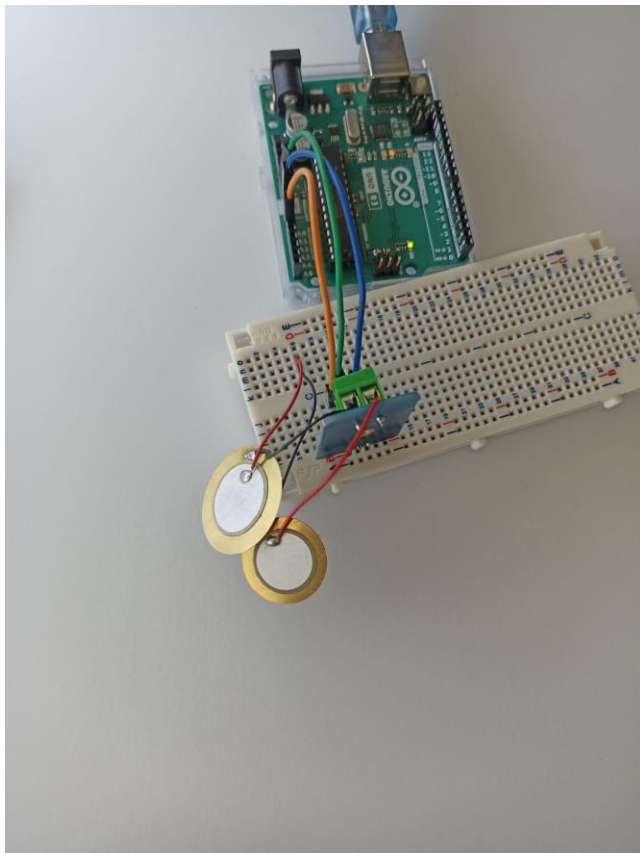


U (V)

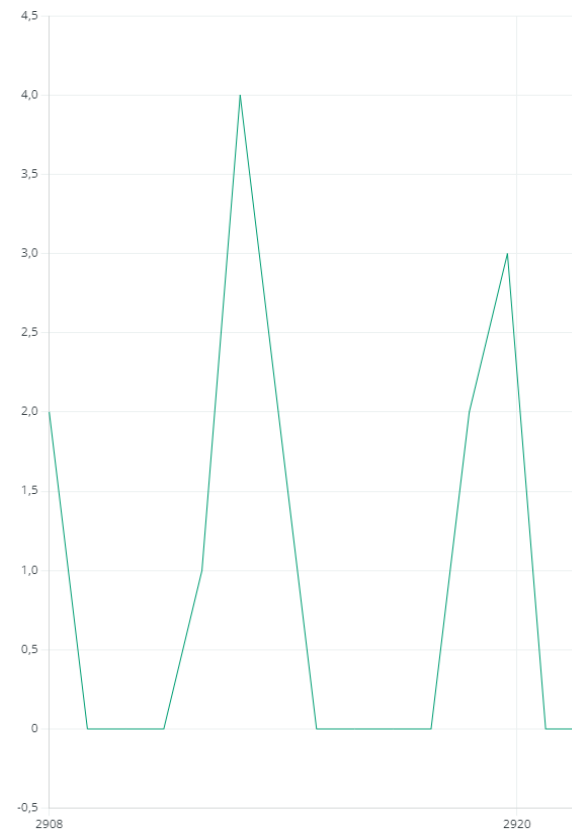


-Tension en fonction du temps-

Nous associons deux cellules piézoélectriques et on leur applique toutes les deux une force normale de doigt.



$U (V)$

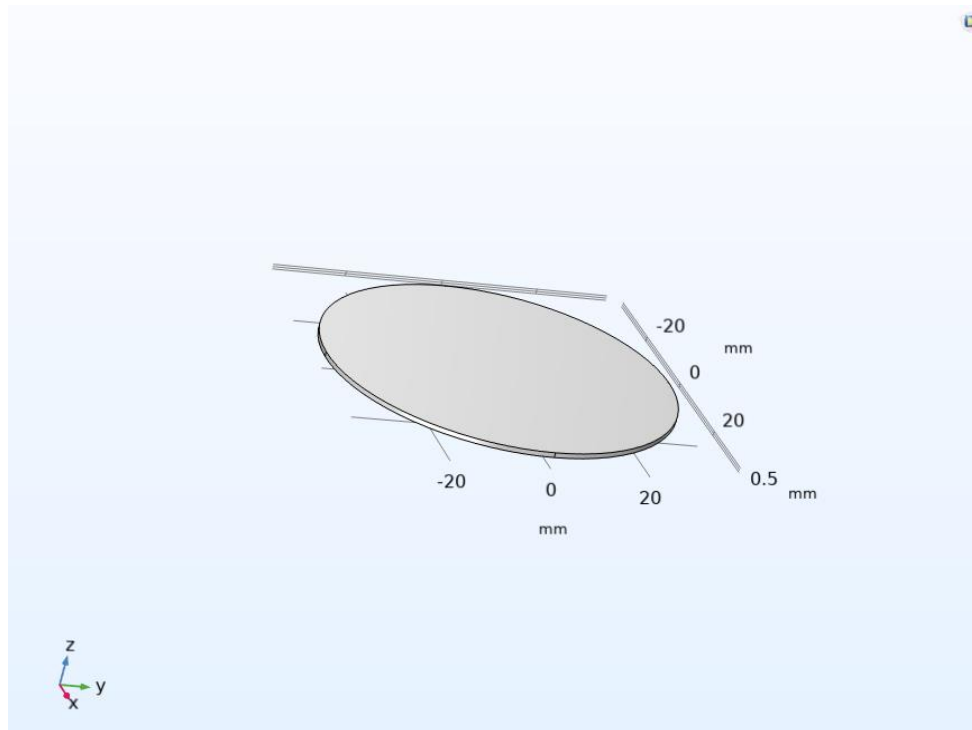


$t(s)$

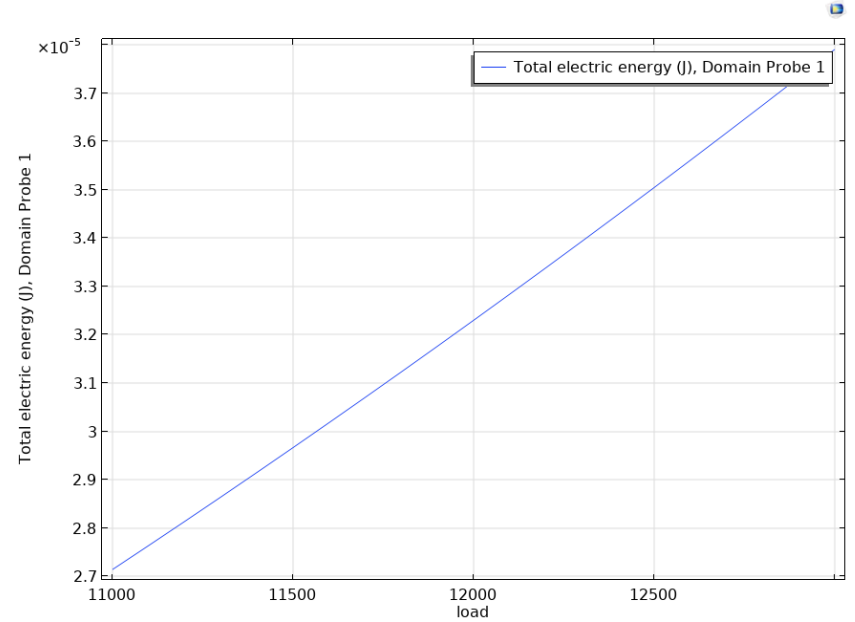
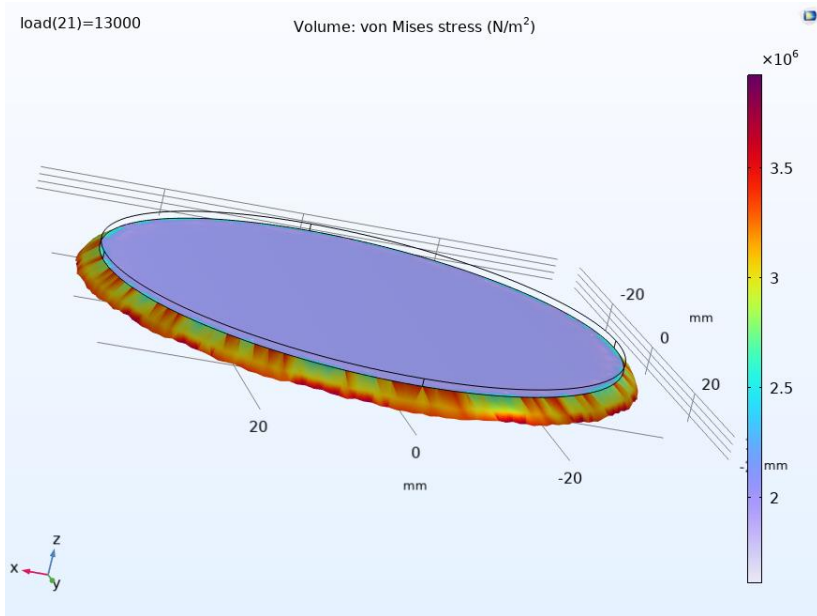
D'après l'étude faite par mon camarade de groupe : l'énergie emmagasinée dans le matériau s'écrit :

$$E = \frac{K^2}{C} F^2$$

À l'aide du logiciel « COMSOL Multiphysics », nous simulons le comportement du matériau face à une force uniformément répartie (force du poids au voisinage des masses usuelles des voitures) :

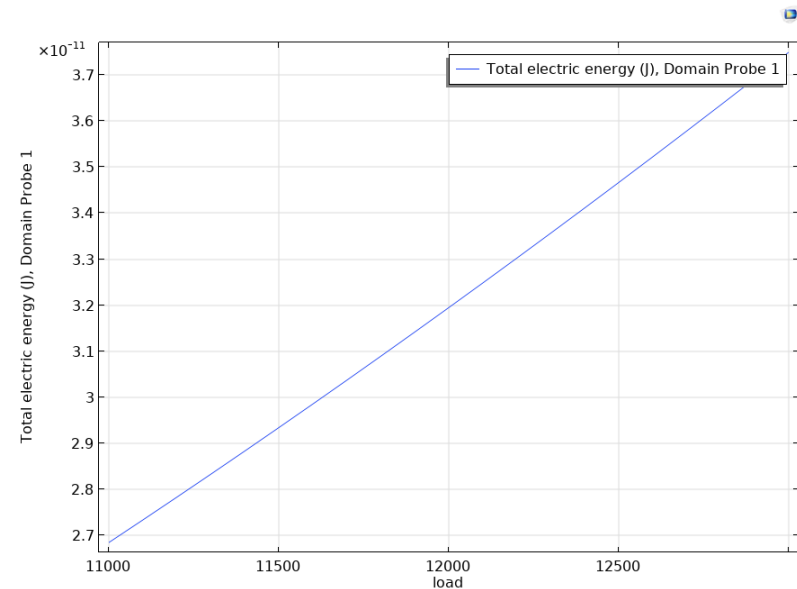
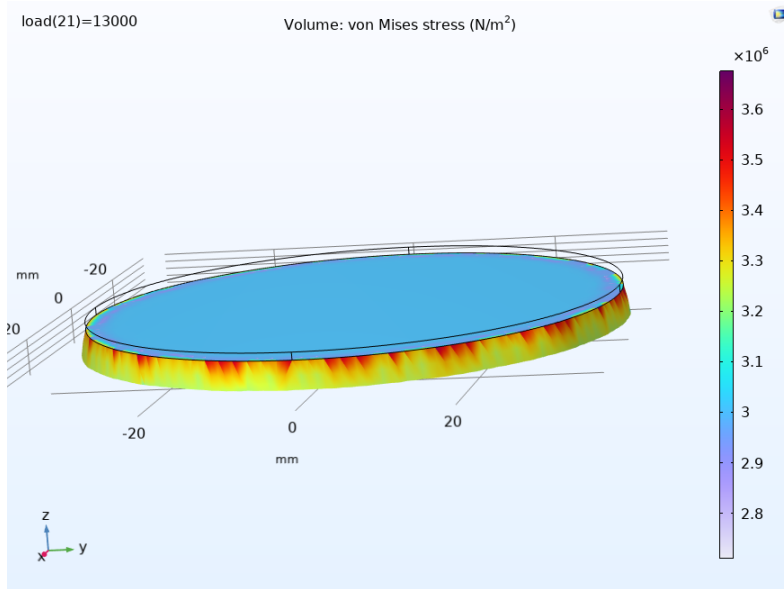


Zircono-titanates de plomb PZT



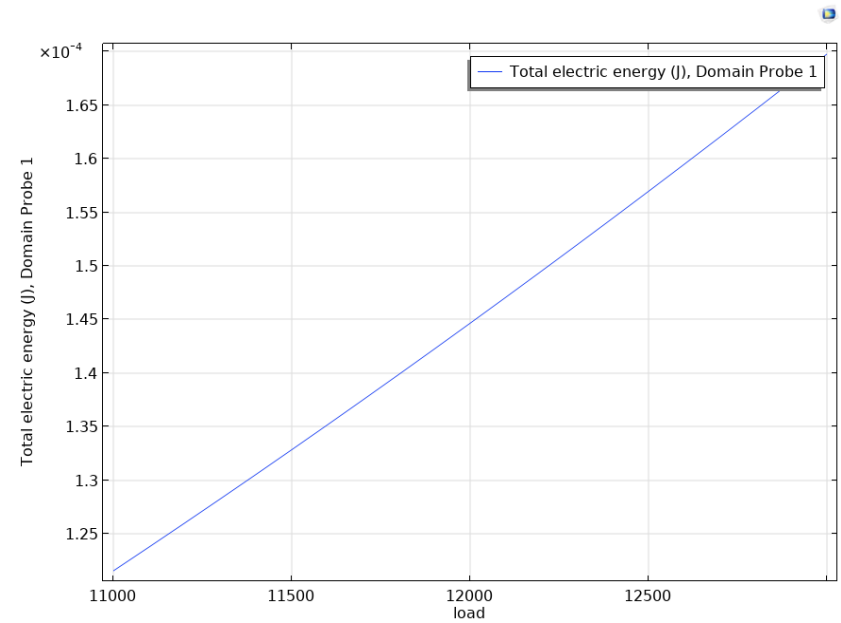
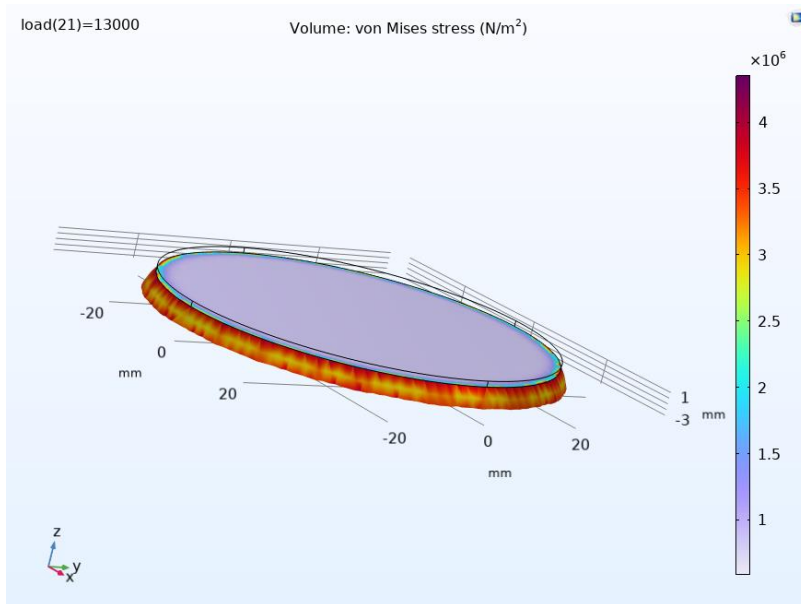
| load | Floating potential (V), Boundary Probe 1 | Total electric energy (J), Domain Probe 1 |
|-------|--|---|
| 11600 | -51.635 | 3.0182E-5 |
| 11700 | -52.080 | 3.0704E-5 |
| 11800 | -52.525 | 3.1232E-5 |
| 11900 | -52.970 | 3.1763E-5 |
| 12000 | -53.415 | 3.2299E-5 |
| 12100 | -53.860 | 3.2840E-5 |
| 12200 | -54.305 | 3.3385E-5 |
| 12300 | -54.750 | 3.3934E-5 |
| 12400 | -55.196 | 3.4488E-5 |
| 12500 | -55.641 | 3.5047E-5 |

Quartz SiO₂




| load | Floating potential (V), Boundary Probe 1 | Total electric energy (J), Domain Probe 1 |
|-------|--|---|
| 12100 | -6.9061E-9 | 3.2482E-11 |
| 12200 | -6.9632E-9 | 3.3021E-11 |
| 12300 | -7.0203E-9 | 3.3565E-11 |
| 12400 | -7.0774E-9 | 3.4113E-11 |
| 12500 | -7.1344E-9 | 3.4665E-11 |
| 12600 | -7.1915E-9 | 3.5222E-11 |
| 12700 | -7.2486E-9 | 3.5783E-11 |
| 12800 | -7.3057E-9 | 3.6349E-11 |
| 12900 | -7.3627E-9 | 3.6919E-11 |
| 13000 | -7.4198E-9 | 3.7494E-11 |

Polyfluorure de vinylidène : PVDF



| load | Floating potential (V), Boundary Probe 1 | Total electric energy (J), Domain Probe 1 |
|-------|--|---|
| 12100 | 1065.3 | 1.4707E-4 |
| 12200 | 1074.1 | 1.4951E-4 |
| 12300 | 1082.9 | 1.5197E-4 |
| 12400 | 1091.7 | 1.5445E-4 |
| 12500 | 1100.5 | 1.5695E-4 |
| 12600 | 1109.3 | 1.5948E-4 |
| 12700 | 1118.1 | 1.6202E-4 |
| 12800 | 1127.0 | 1.6458E-4 |
| 12900 | 1135.8 | 1.6716E-4 |
| 13000 | 1144.6 | 1.6976E-4 |

Matériau le plus productif



PVDF

ORDRE DE L'ÉNERGIE FOURNIE PAR LE SYSTÈME PIÉZOÉLECTRIQUE


- L'énergie fournie par une cellule par le passage de 22000 voitures est 6.6J
- Donc l'énergie fournie par le passage d'une voiture sur N cellules est $6.6N$

Donc il faut un nombre $N \sim 10^5$ pour atteindre l'ordre de MJ.

CONCLUSION

Le système mécanique permet d'avoir jusqu'à 3 lampadaires autonomes. Toutefois, le système piézoélectrique ne permet pas la résolution du problème de l'éclairage public.

⇒ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Système mécanique : Prometteur.} \\ \text{Système piézoélectrique : Ne répond pas à la problématique.} \end{array} \right.$



**Merci de votre
attention.**

ANNEXE

Importation:

```
1 #TIPE Dos d'anes : Code réalisé par Oussama AKAR
2 import numpy as np
3 from scipy.integrate import odeint
4 import matplotlib.pyplot as plt
```

Initialisation des
valeurs:

```
10 T=np.linspace(0,1,100000)
11 m=150 # Masse du dos d'ane
12 Meq=620 # Masse inertielle équivalente
13 Mtot=m+Meq
14 n=50 # Rapport de multiplication du train d'engrenages
15 Res=100 # Résistance
16 R=0.0245 # Rayon du pignon
17 C=8000
18 F=12000 # F=M(voiture)*g
19 K=130000 # Raideur du ressort
```

```
22 def trace(F):
23     def Deux(Y,t):
24         x,dx=Y
25         return np.array([dx,(int(t<1)*F-K*x-C*dx)/Mtot])
26
27
28
29     Y=odeint(Deux,np.array([0,0]),T)
30
31     abscisse=Y[:,0]
32
33     vitesse=Y[:,1]
34
35     Puissance=(vitesse**2)*600
36
37     plt.plot(T,Puissance)
38     plt.xlabel('temps en s')
39     plt.ylabel('Puissance Générée en W')
40     plt.title("Puissance Générée en fonction du temps")
41
42
43 for i in range(9000,15000,1000):
44     trace(i)
45
46 plt.legend(['masse='+str(i*100)+'kg' for i in range(9,13)])
47
```

Méthode
rectangles
droites:

des

```
73 #Energie en Joule (passage d'une seule voiture) :  
74 h=1e-5  
75 s=0  
76 for i in range(len(Puissance)):  
77     s+=Puissance[i]  
78 print(2*s*h)
```