

# Le propulseur électromagnétique

## I. Modèles théorique et expérimental

- 1) Théorie
- 2) Modèle expérimental

## II. Optimisation du circuit

- 1) Position initiale du projectile
- 2) Influence de la capacité

## III. Optimisation du projectile

- 1) Matériau
- 2) Masse et longueur
- 3) Forme

## IV. Conclusion





# Théorie

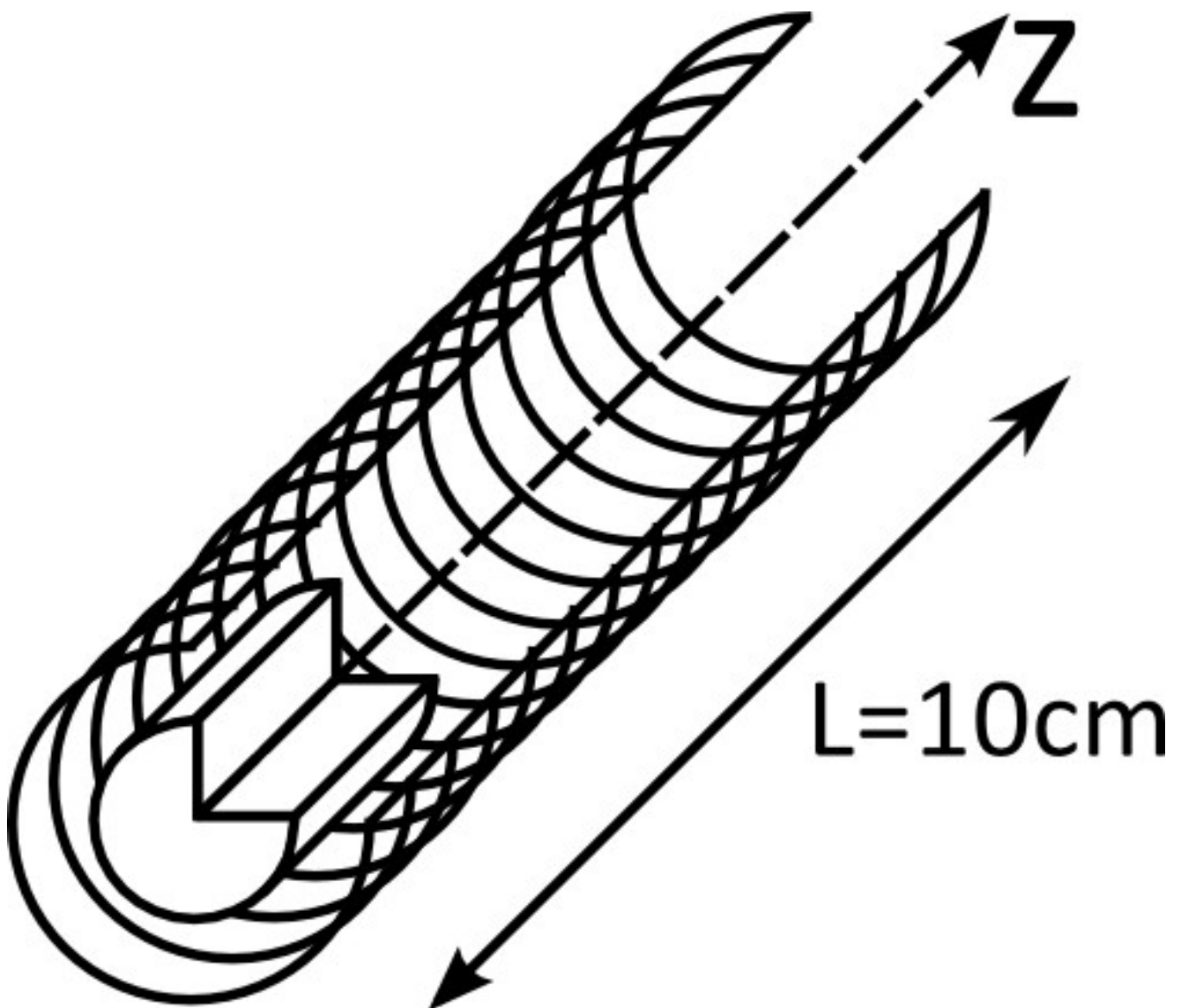
Champ magnétique sur l'axe d'une bobine  
(champ uniforme perpendiculairement à l'axe)

$$\vec{B}(z,t) = \frac{1}{2} \mu_0 \mu_r I(t) g(z) \vec{e}_z$$

$$\mu_r(\text{acier}) : 100$$

$$\mu_r(\text{aluminium}) : 1$$

$$g(z) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{2} + z\right)^2}} + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{2} - z\right)^2}}$$



# Théorie

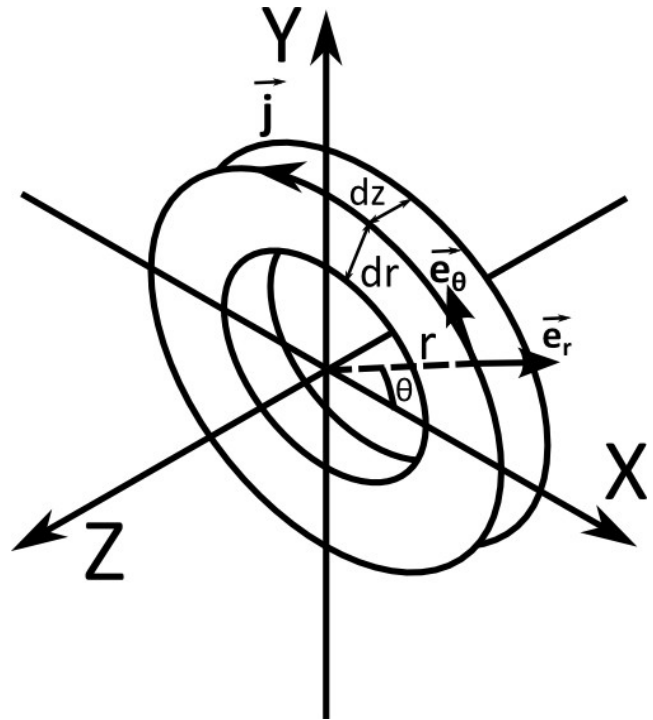
Phénomène d'induction dans le projectile  
(on néglige l'effet de peau)

$$\vec{A}(r, z, t) = \vec{B}(z, t) \cdot \vec{e}_z \cdot \frac{r^2}{2} \vec{e}_\theta$$

$$\vec{E}_{\text{induit}} = - \frac{\partial \vec{A}(r, z, t)}{\partial t}$$

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}_{\text{induit}}$$

$$\boxed{\vec{j} = - \frac{\partial \vec{B}(z, t) \cdot \vec{e}_z}{\partial t} \frac{r^2}{2} \vec{e}_\theta}$$



Moment magnétique équivalent d'une boucle de courant

$$\vec{m} = \pi r^2 \left( \vec{j} \cdot \vec{e}_\theta \right) dr dz \vec{z}$$

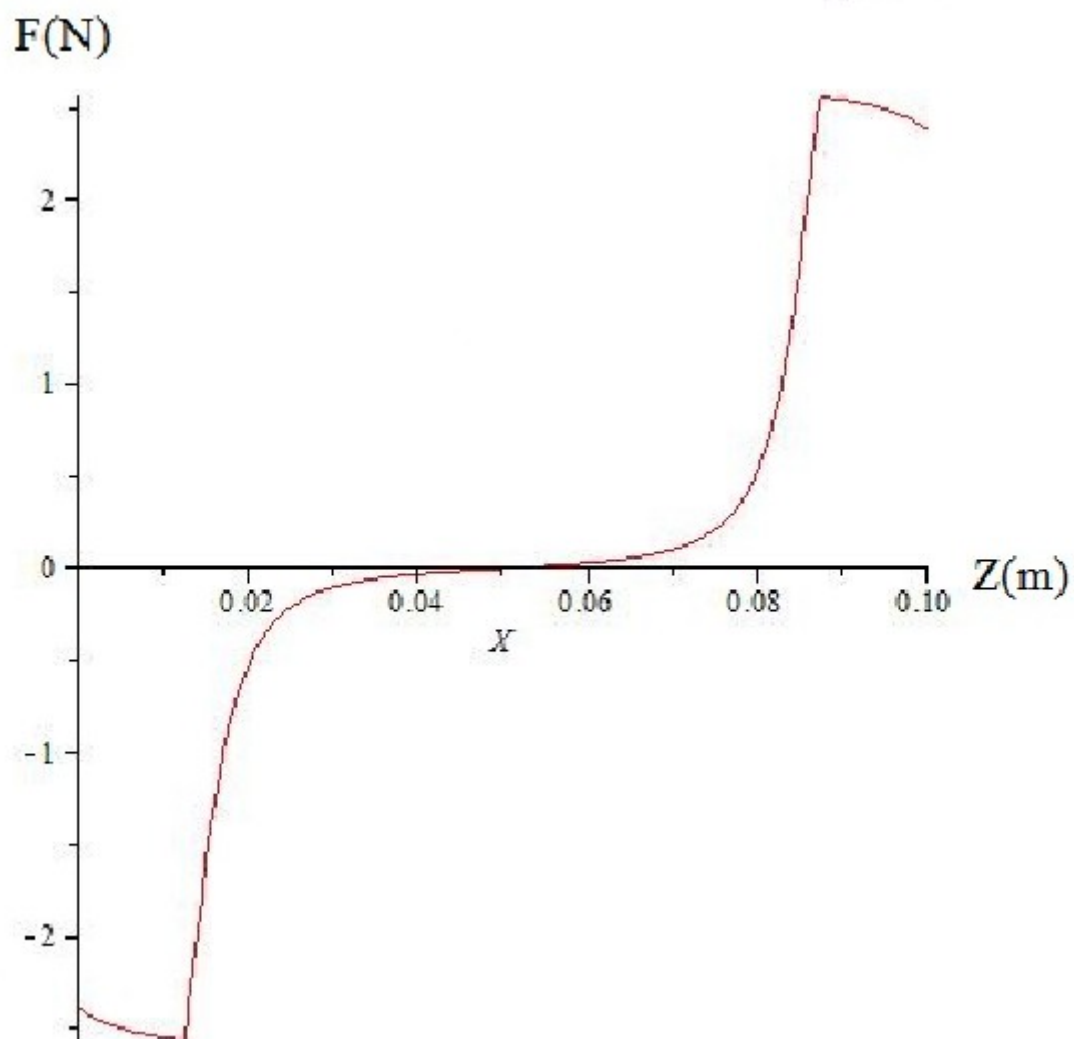
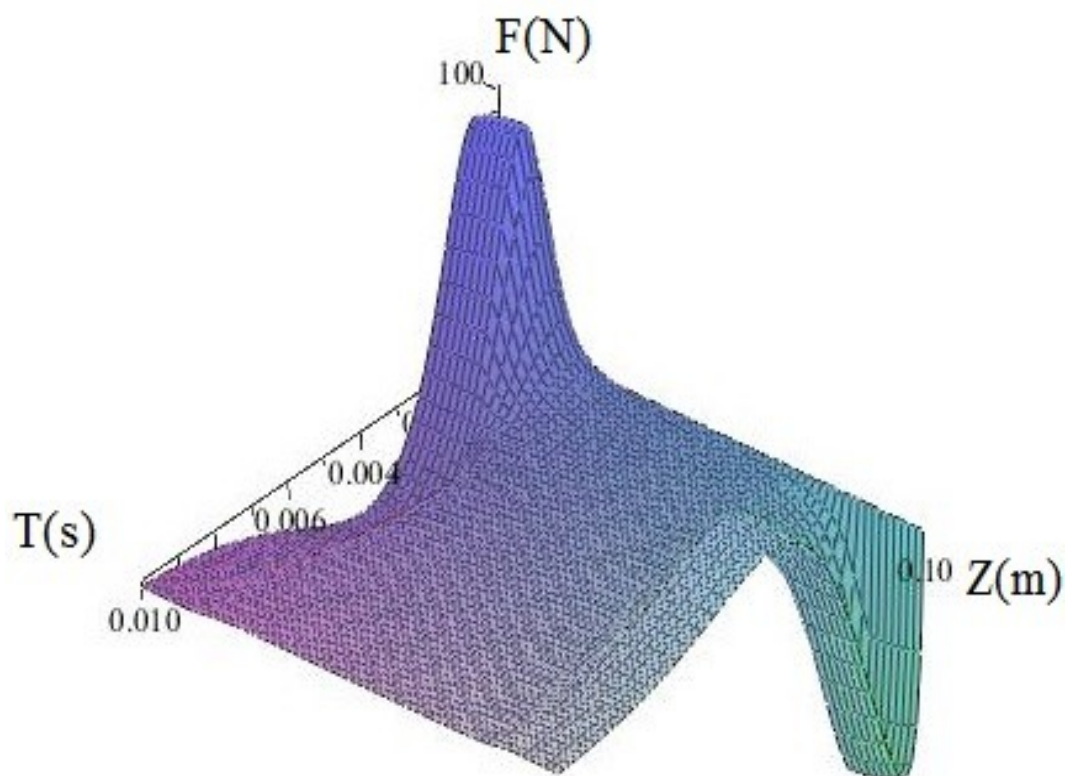
Énergie potentielle magnétique et force générée

$$Ep = -\vec{m} \cdot \vec{B}$$

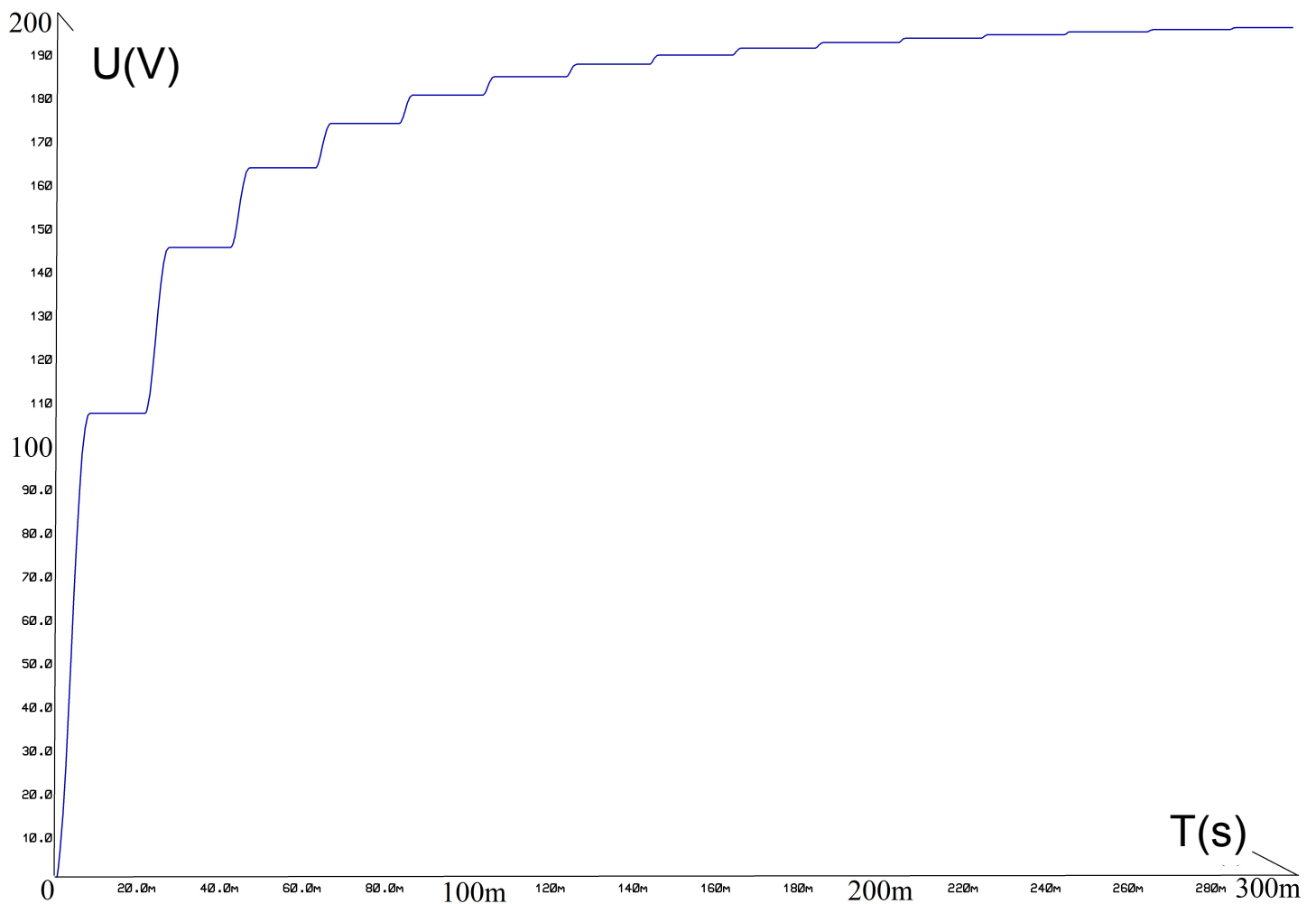
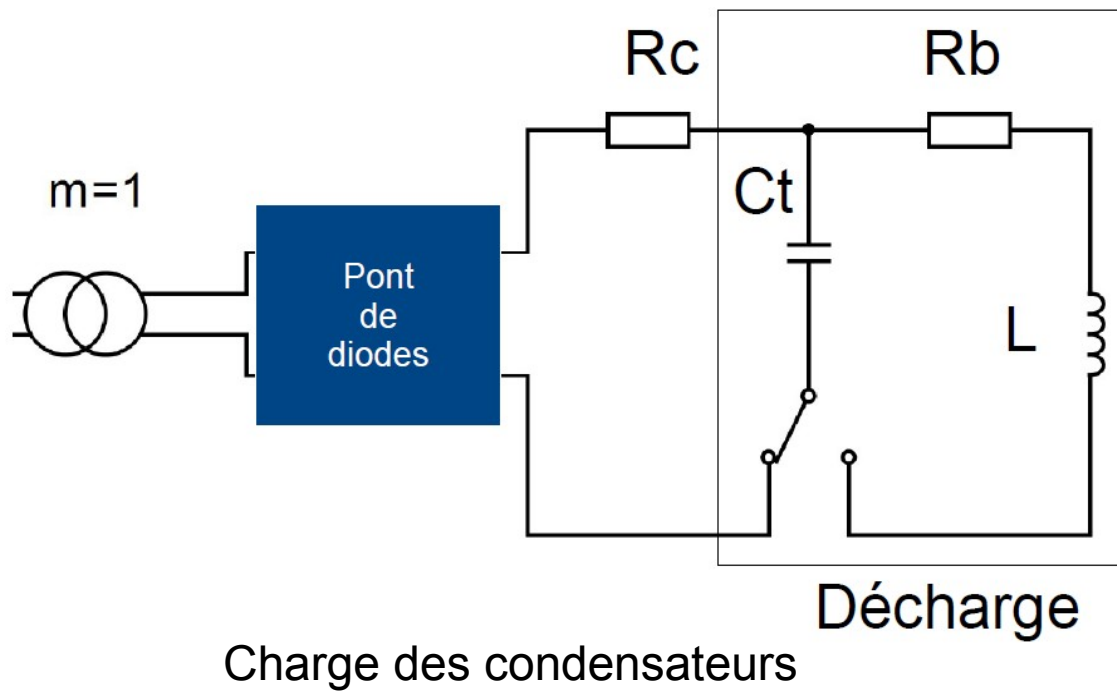
$$\vec{dF} = -\vec{\text{grad}}(Ep)$$

$$\vec{F} = \iiint_V \vec{dF}$$

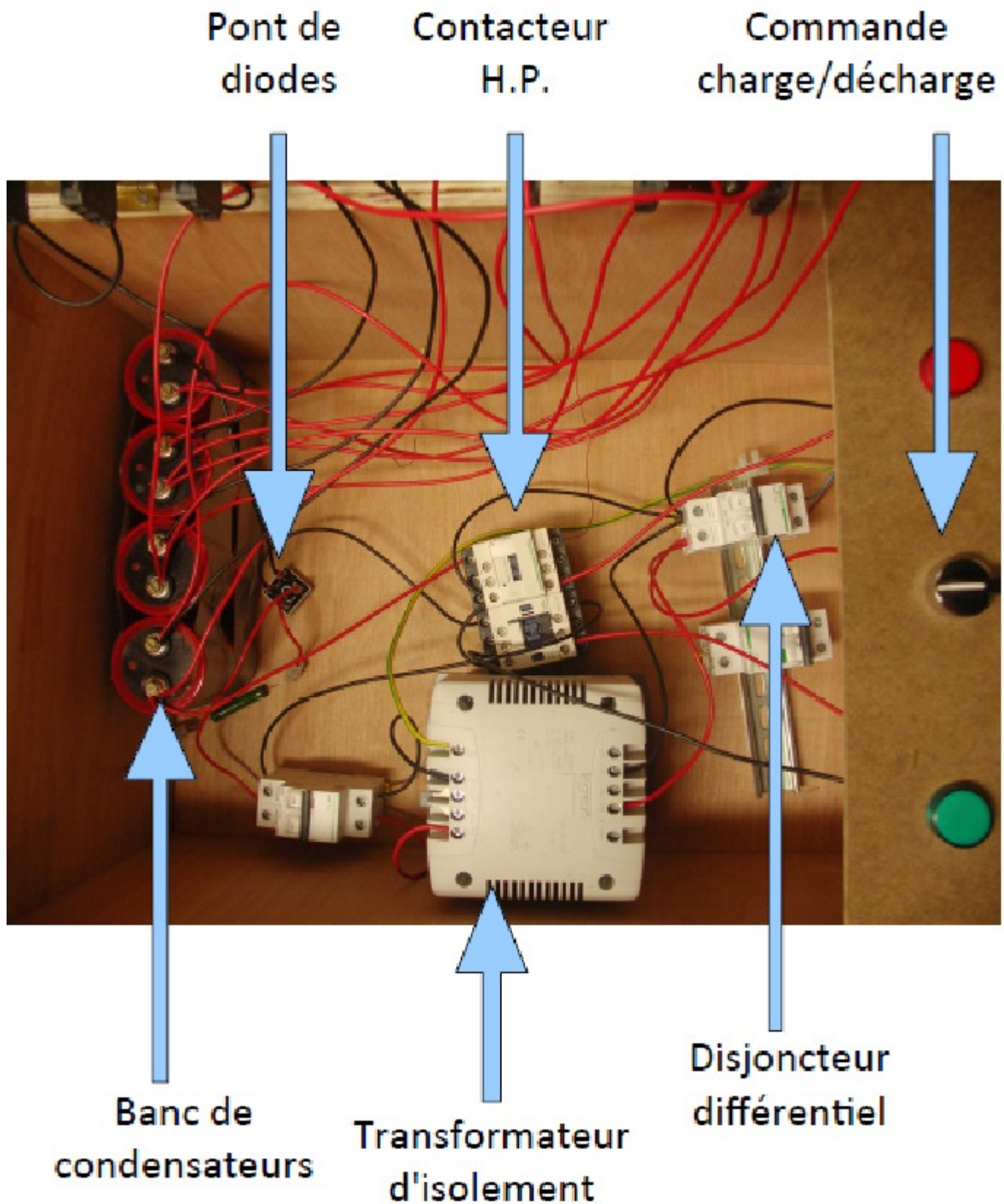
# Théorie



# Modèle expérimental



# Modèle expérimental



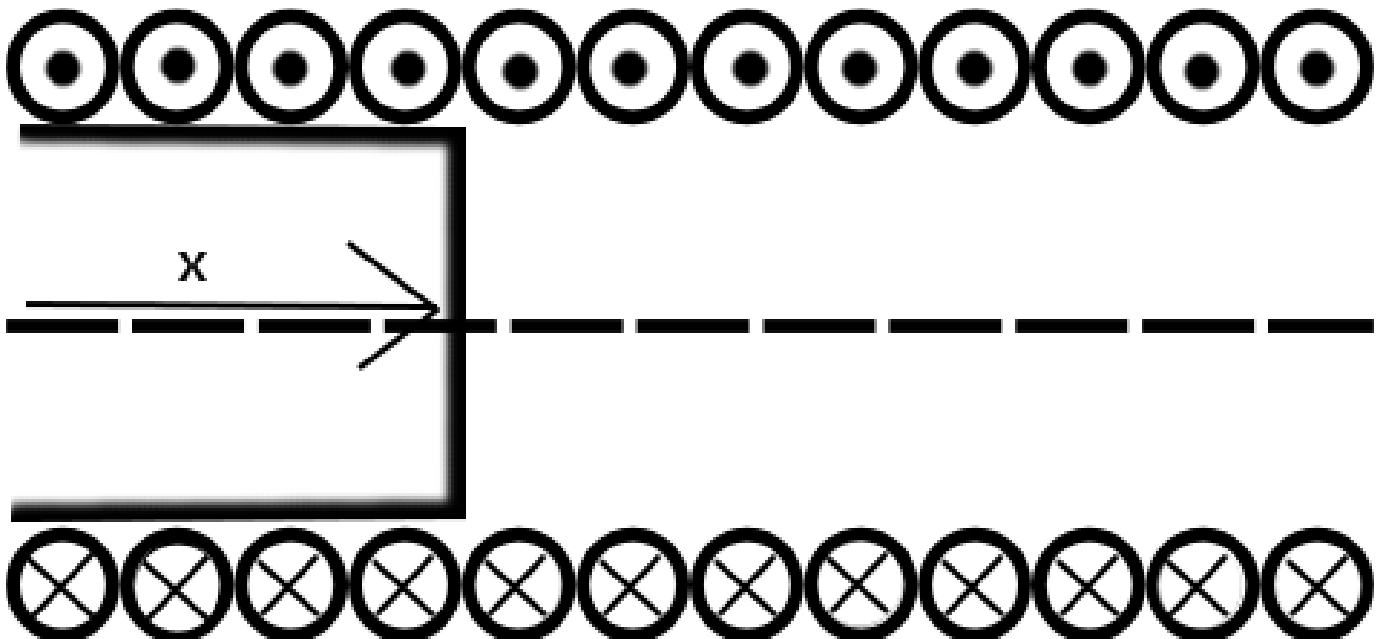
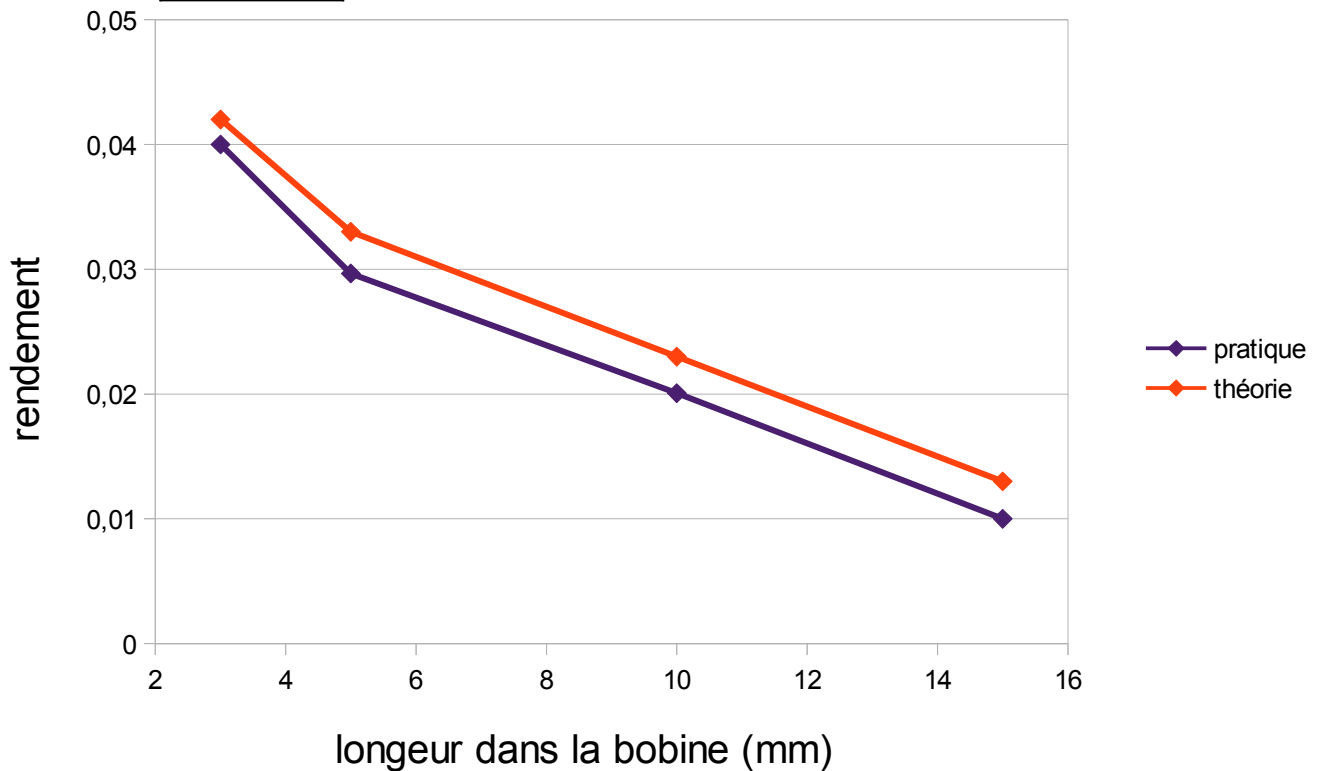


# Position initiale du projectile

Définition du rendement

$$\eta = \frac{\text{Energie cinétique du projectile}}{\text{Energie stockée dans les condensateurs}}$$

$$\eta = \frac{mv^2}{cu^2}$$



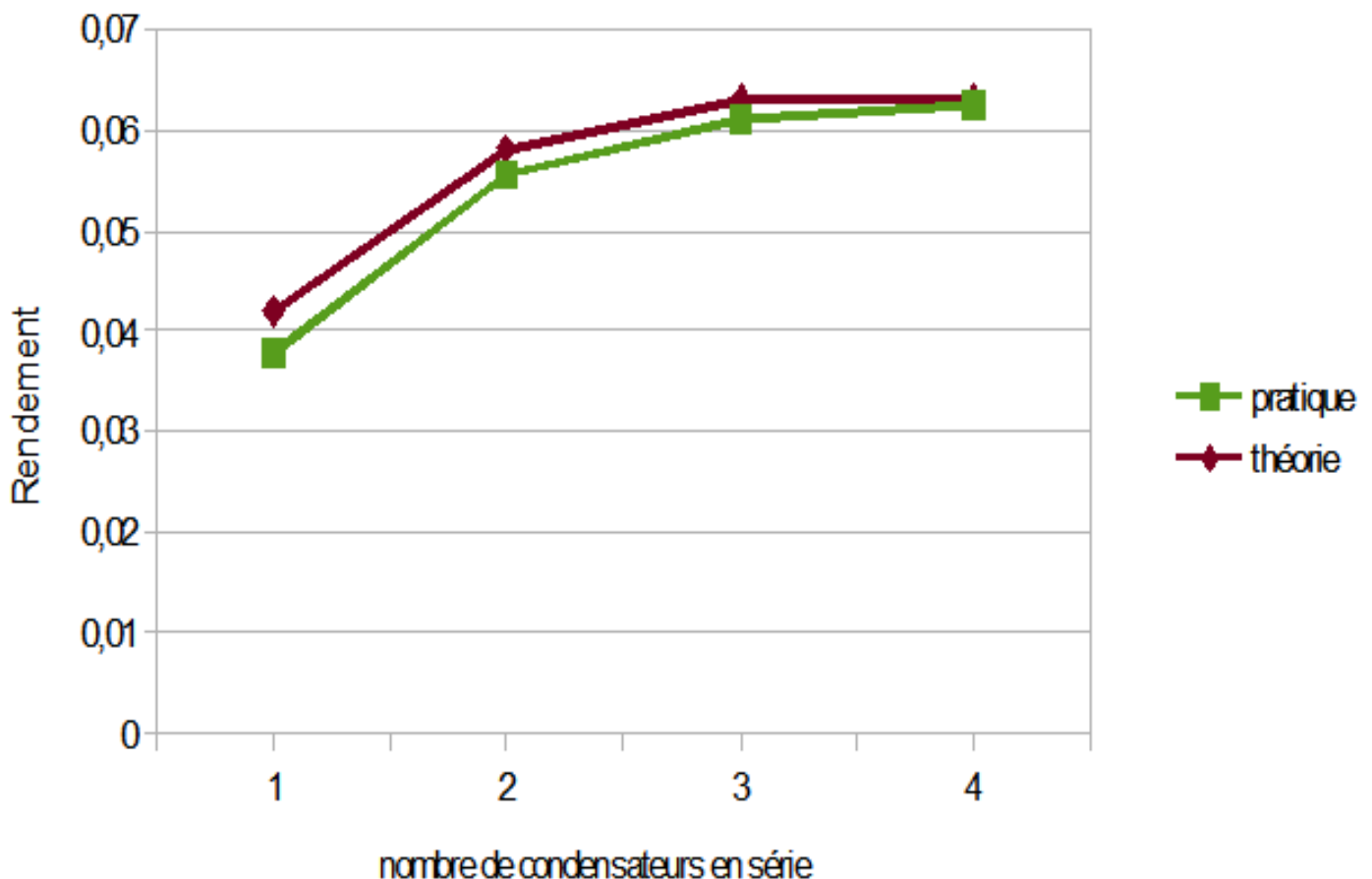


# Optimisation du circuit

Adjonction de condensateurs en série :

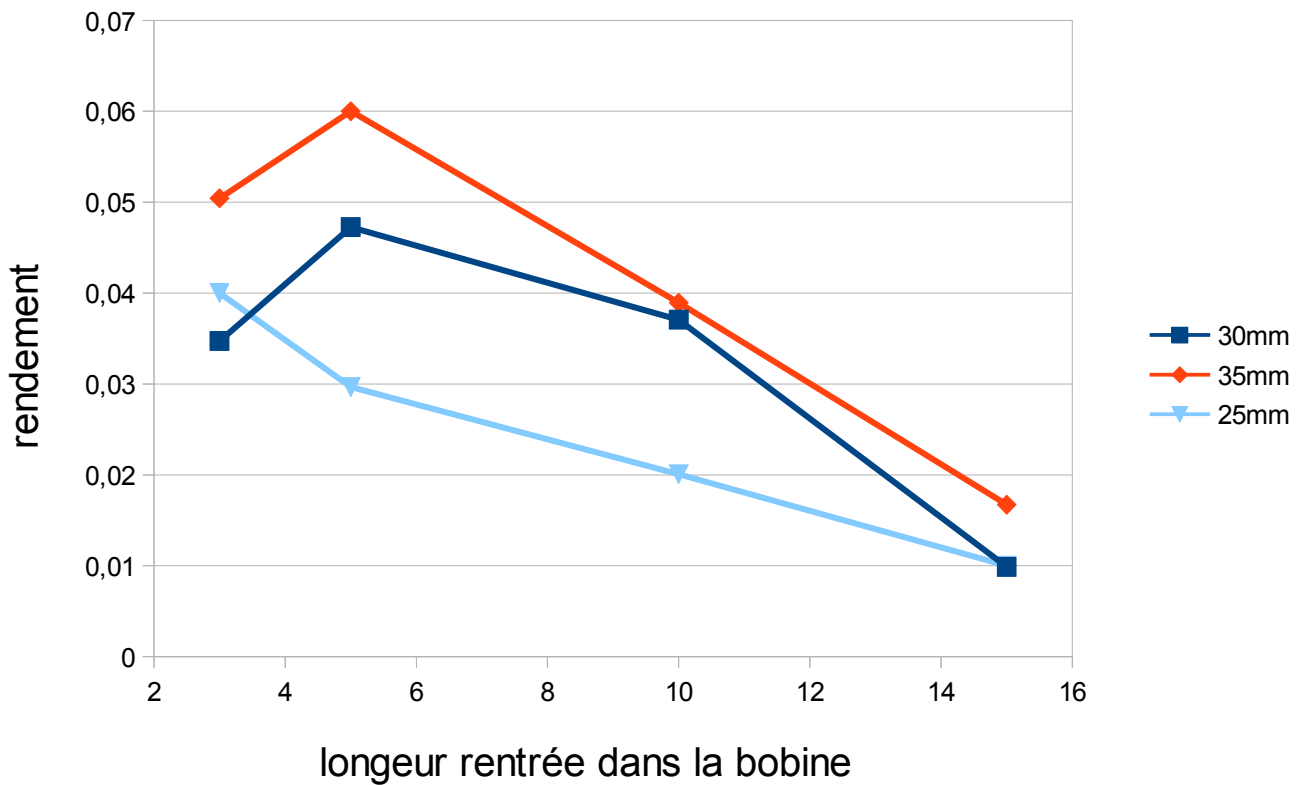
- \* augmentation de la tension aux bornes de la bobine

- \* diminution de la période du circuit RLC donc augmentation des phénomènes d'induction



# Optimisation du projectile

## Longueur et masse



Les optimisations faites sur un projectile de 25mm restent valables pour un projectile plus long et plus massif sauf pour des très faibles longueurs rentrées

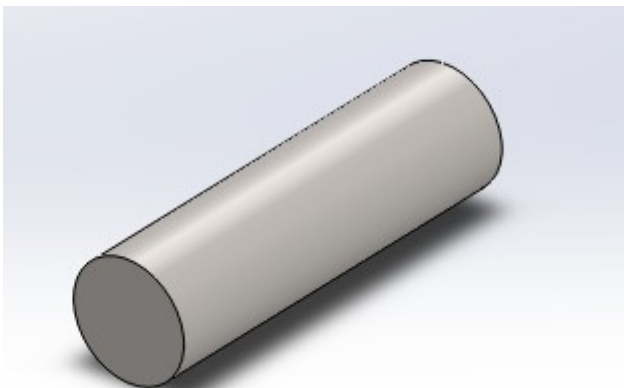
## Matériau du projectile

Des essais sur du laiton et de l'aluminium ont montré une absence totale de mouvement du projectile quelle que soit la charge du circuit ou la position du projectile

# Forme du projectile

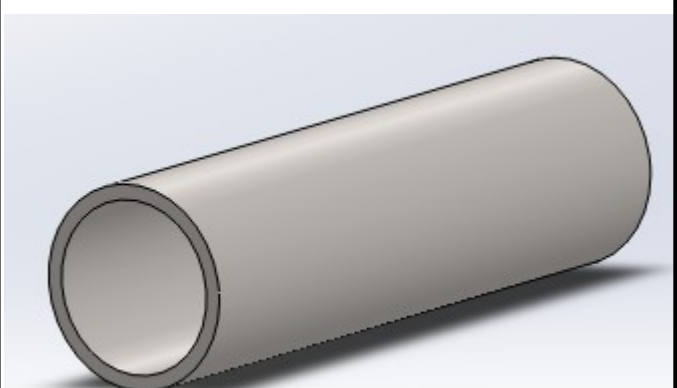
Pour un essai totalement optimisé (longueur du projectile : 35mm, position initiale : 5mm rentrés dans la bobine, 4 condensateurs en série)

Projectile cylindrique plein :



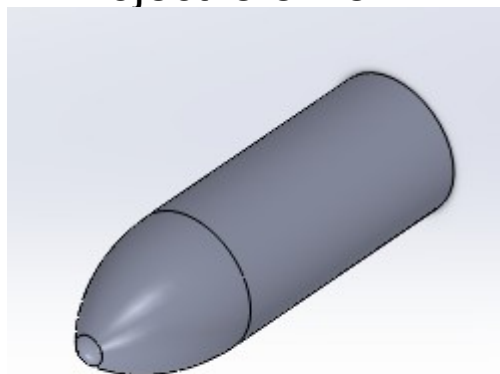
Rendement maxi : 6%

Projectile cylindrique creux :



Rendement maxi : 2.1%  
(Théorie 4%)

Projectile effilé :



Rendement maxi : 6.2%



# Conclusion

Rendement doublé par rapport à ce qu'il était au départ

Problème avec le tube creux dû aux tolérances d'usinage du tube à disposition

Une utilisation d'un métal de blindage magnétique pourrait être bénéfique au rendement

Similitude entre les courbes de rendement pour des longueurs différentes: (utilisation probable sur un lanceur de plus grande envergure)

Mise en application des notions d'induction

Découverte de la force due à l'inhomogénéité du champ magnétique

# Le propulseur électromagnétique

## I. Modèles théorique et expérimental

- 1) Théorie
- 2) Modèle expérimental

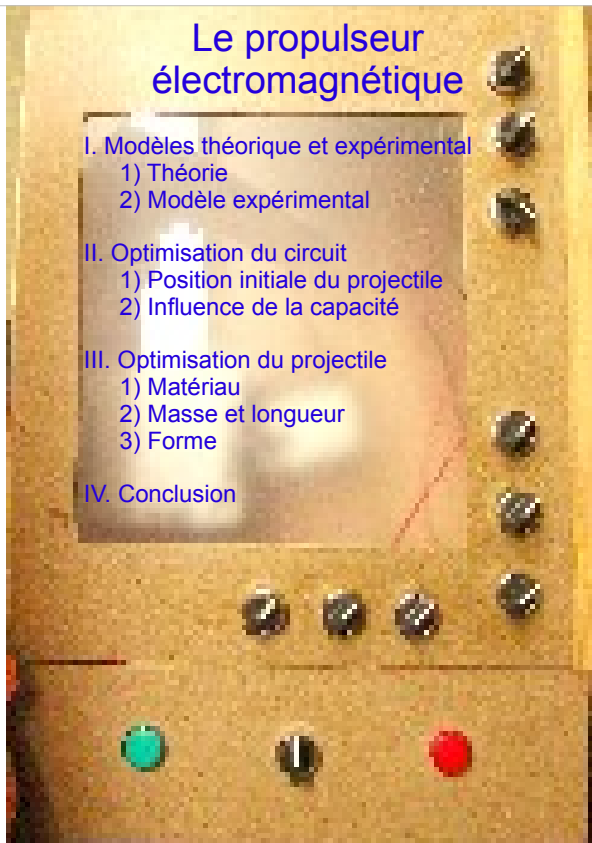
## II. Optimisation du circuit

- 1) Position initiale du projectile
- 2) Influence de la capacité

## III. Optimisation du projectile

- 1) Matériau
- 2) Masse et longueur
- 3) Forme

## IV. Conclusion



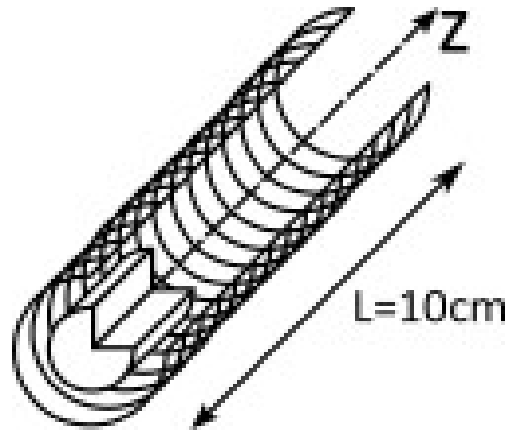
## Théorie

Champ magnétique sur l'axe d'une bobine  
(champ uniforme perpendiculairement à l'axe)

$$\vec{B}(z,t) = \frac{1}{2} \mu_0 \mu_r I(t) g(z) \vec{e}_z$$

$$g(z) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{2} + z\right)^2}} + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{L}{2} - z\right)^2}}$$

$\mu_r(\text{acier}) : 100$   
 $\mu_r(\text{aluminium}) : 1$





## Théorie

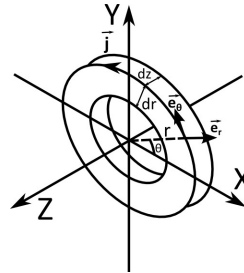
Phénomène d'induction dans le projectile  
(on néglige l'effet de peau)

$$\vec{A}(r, z, t) = \vec{B}(z, t) \cdot \vec{e}_z \cdot \frac{r^2}{2} \vec{e}_\theta$$

$$\vec{E}_{\text{induit}} = - \frac{\partial \vec{A}(r, z, t)}{\partial t}$$

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}_{\text{induit}}$$

$$\boxed{\vec{j} = - \frac{\partial \vec{B}(z, t) \cdot \vec{e}_z}{\partial t} \cdot \frac{r^2}{2} \vec{e}_\theta}$$



Moment magnétique équivalent d'une boucle de courant

$$\vec{m} = \pi r^2 \left( \vec{j} \cdot \vec{e}_\theta \right) dr dz \vec{z}$$

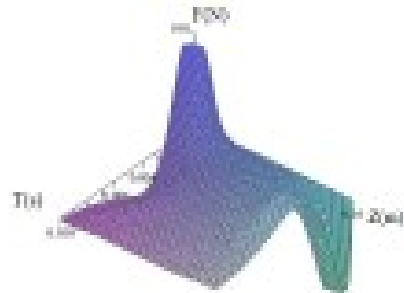
Énergie potentielle magnétique et force générée

$$Ep = - \vec{m} \cdot \vec{B}$$

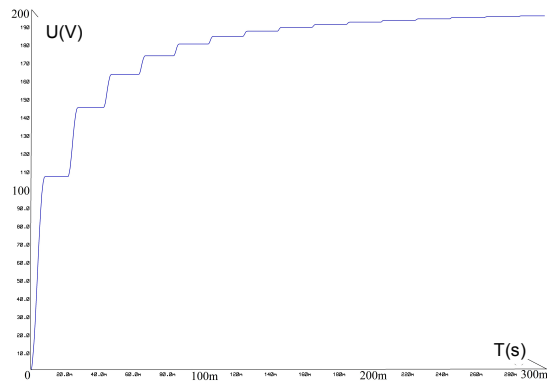
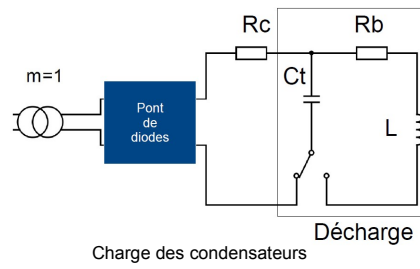
$$d\vec{F} = - \overrightarrow{\text{grad}}(Ep)$$

$$\vec{F} = \iiint_V d\vec{F}$$

## Théorie

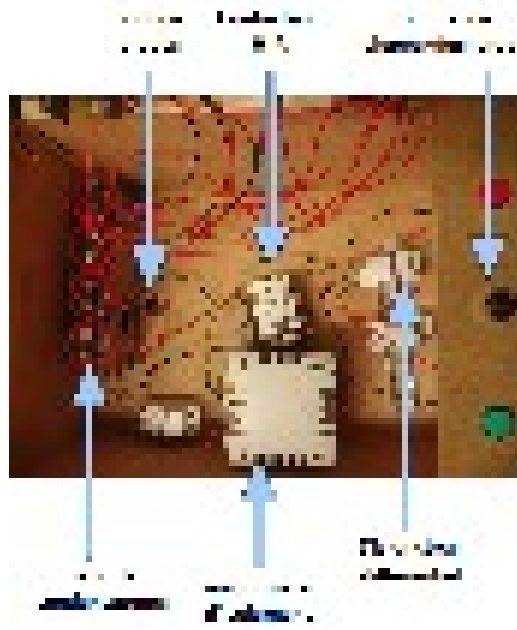


## Modèle expérimental





## Modèle expérimental



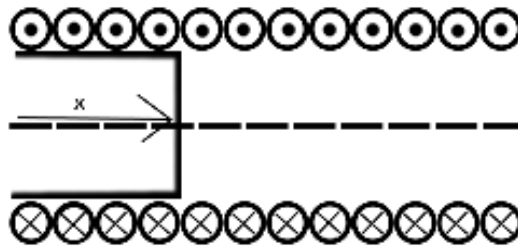
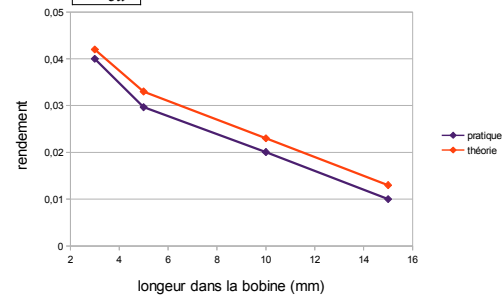


## Position initiale du projectile

Définition du rendement

$$\eta = \frac{\text{Energie cinétique du projectile}}{\text{Energie stockée dans les condensateurs}}$$

$$\eta = \frac{mv^2}{cu^2}$$

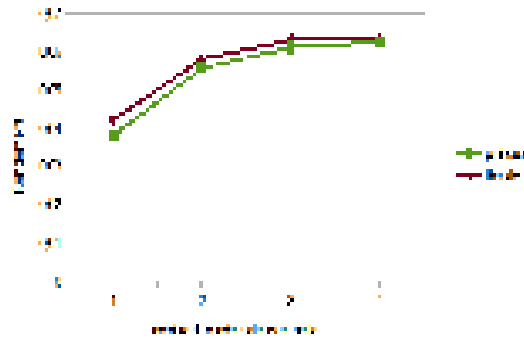




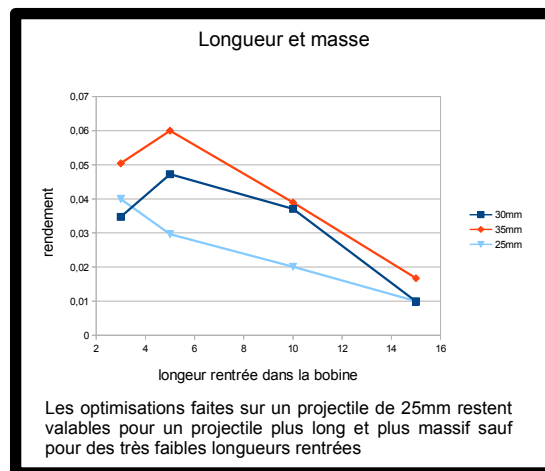
## Optimisation du circuit

Adjonction de condensateurs en série :

- \* augmentation de la tension aux bornes de la bobine
- \* diminution de la période du circuit RLC donc augmentation des phénomènes d'induction



## Optimisation du projectile



### Matériau du projectile

Des essais sur du laiton et de l'aluminium ont montré une absence totale de mouvement du projectile quelle que soit la charge du circuit ou la position du projectile

## Forme du projectile

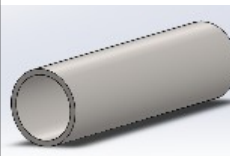
Pour un essai totalement optimisé (longueur du projectile : 35mm, position initiale : 5mm rentrés dans la bobine, 4 condensateurs en série)

Projectile cylindrique plein :



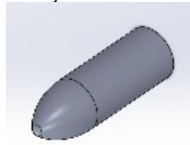
Rendement maxi : 6%

Projectile cylindrique creux :



Rendement maxi : 2.1%  
(Théorie 4%)

Projectile effilé :



Rendement maxi : 6.2%

## Conclusion

Rendement doublé par rapport à ce qu'il était au départ

Problème avec le tube creux dû aux tolérances d'usinage du tube à disposition

Une utilisation d'un métal de blindage magnétique pourrait être bénéfique au rendement

Similitude entre les courbes de rendement pour des longueurs différentes: (utilisation probable sur un lanceur de plus grande envergure)

Mise en application des notions d'induction

Découverte de la force due à l'inhomogénéité du champ magnétique