

# Lycée Albert Camus

## Travaux Pratiques Encadrés

Série S

Année scolaire 2015-2016

Dossier commun

### La Dalle Podo-électrique



LOVERA Duncan – CUGNOT Nicolas - OLLIVIER Lucas

**Problématique : Comment convertir l'énergie de la marche de passants en une énergie électrique utilisable pour l'éclairage urbain par la Mairie ?**

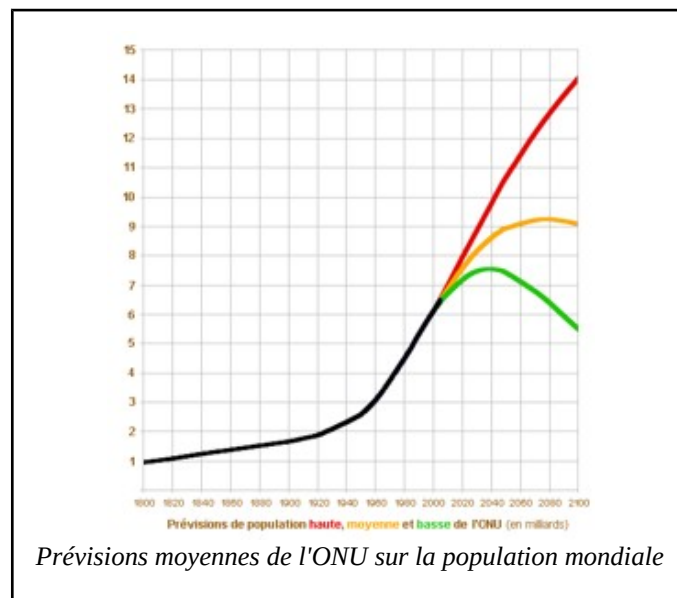
\*\*\* LA DALLE PODO-ELECTRIQUE \*\*\*

## I) Introduction

Dans notre société actuelle, l'énergie est une ressource importante et indispensable. Or, les ressources fossiles et atomiques utiles aujourd'hui pour « fabriquer » de l'énergie ne sont pas infinies et semblent s'épuiser. Il paraît, dès lors, intéressant de rechercher de nouveaux moyens de fournir de l'énergie à partir de ressources renouvelables.

De nombreux systèmes produisant une énergie dite propre à partir de ressources renouvelables sont déjà présents sur le marché et utilisés comme les éoliennes ou les panneaux solaires. Pourtant, ils ne représentent qu'une petite part de la production d'énergie mondiale et la France n'est pas épargnée. Il devient donc primordiale d'améliorer ces systèmes et d'en créer de nouveaux afin de limiter au maximum l'utilisation de procédés polluants utilisant des ressources fossiles et atomiques épuisables et nuisibles à l'environnement. En produisant de l'énergie dite « propre », nous permettrons aux générations futures d'avoir accès à des sources d'énergie quasiment inépuisables et respectueuses de l'environnement. La tenue de la COP21 en 2015 prouve que les thèmes du développement durable et de l'énergie « verte » sont des enjeux importants pour le futur.

Actuellement, nous sommes près de sept milliards sur la planète, et, selon les prévisions moyennes de l'ONU, nous serons environ neuf milliards d'êtres humains d'ici 2040. Toutes ces personnes se déplacent en voiture mais également à pied. Lors ces déplacements pédestres, de l'énergie est utilisée par le corps pour permettre le mouvement mais, d'autre part, de l'énergie est dissipée dans le sol. Si cette énergie pouvait être récupérée, le gain en énergie serait potentiellement énorme. C'est pourquoi dans ce TPE, nous avons décidé d'étudier de quelle manière récupérer l'énergie générée par un piéton lors de la marche. Le système permettant cette prouesse peut être appelé **dalle podo-électrique** de façon générale.

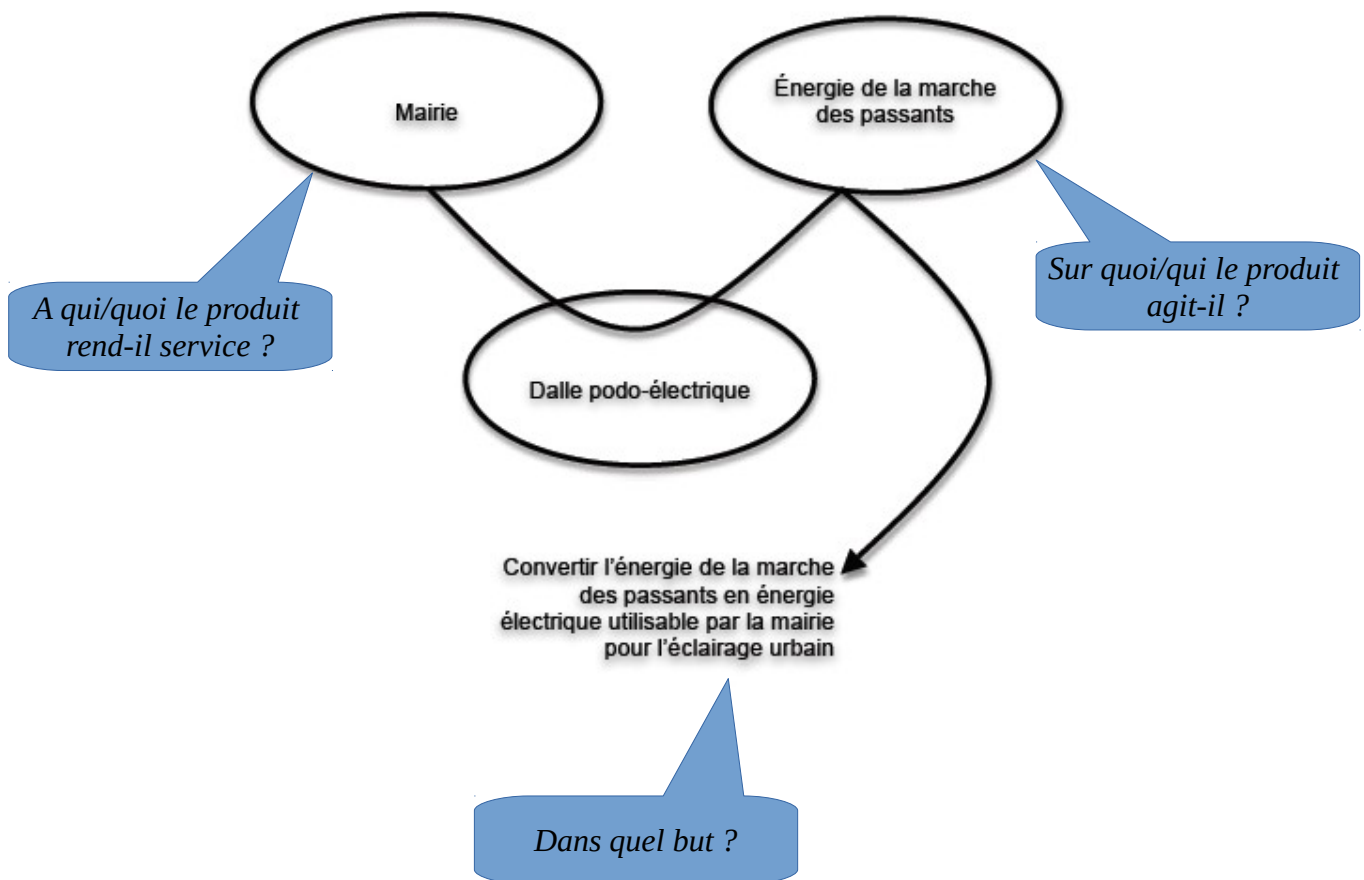


Dans notre cas, la dalle podo-électrique permettrait à la Mairie d'alimenter l'éclairage urbain de façon propre. Ainsi, nous nous demandons *comment convertir l'énergie de la marche de passants en une énergie utilisable pour l'éclairage urbain par la Mairie.*

## II) Analyse fonctionnelle externe

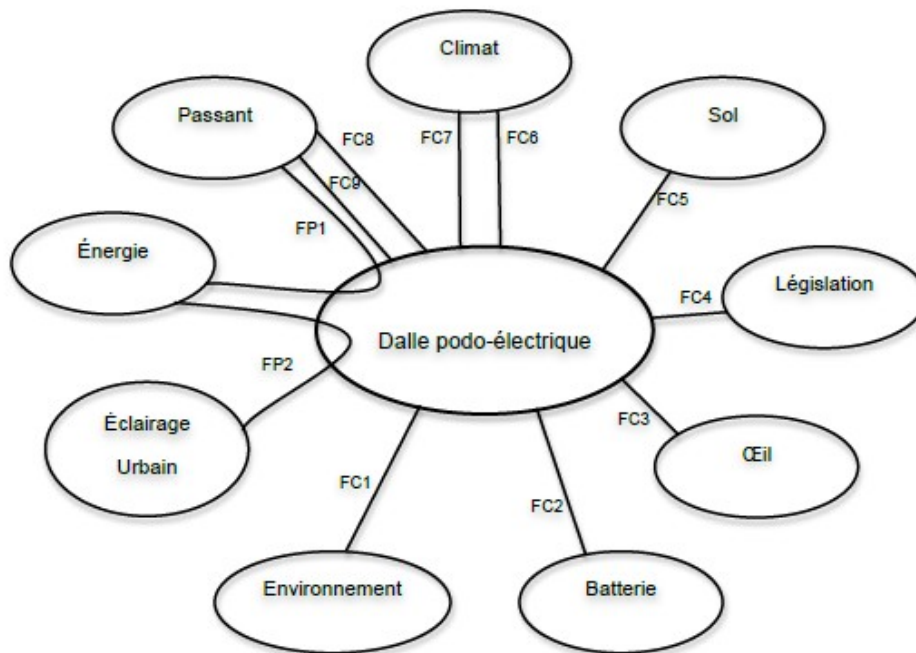
### A) Diagramme d'expression du besoin (bête à cornes)

Afin d'exprimer le besoin attendu par le client du produit, nous utilisons un diagramme surnommé « bête à cornes ». Il représente le produit ou système (son nom), à qui ou à quoi il rend service, sur qui ou sur quoi il agit, et, enfin, son utilité.



## B) Diagramme des interacteurs (pieuvre)

Afin de représenter le système dans son environnement et les interactions de cet environnement sur le système, nous employons un diagramme surnommé « diagramme pieuvre ». Il permet de guider la conception du système en listant les contraintes auxquelles sera soumis ce système. Ces contraintes peuvent être de type environnemental, de sécurité ou d'utilisation. Les différentes restrictions sont classées en deux groupes, les fonctions dites de contrainte Fcn et les fonctions dites principale FPn. Ces dernière (les FPn) décrivent les buts principaux du système, ce pour quoi le système doit être conçu.



NOM DE LA FONCTION	DÉFINITION DE LA FONCTION
FP1	Convertir l'énergie de la marche des passants en énergie électrique
FP2	Obtenir une énergie utilisable pour l'éclairage urbain
FC1	Être recyclable
FC2	Stocker l'énergie produite
FC3	Être esthétique
FC4	Être aux normes
FC5	Être compatible avec tous types de sol
FC6	Résister aux températures basses et élevées
FC7	Résister aux différentes météos (pluie, vent...)
FC8	Pouvoir être traversée sans que le passant ne trébuche
FC9	Pouvoir être traversée par le passant avec une démarche naturelle

## C) Cahier des Charge Fonctionnelles (CdCF)

Le Cahier des Charges Fonctionnelles (ou CdCF) est un document permettant au concepteur de présenter de façon générale le problème en donnant toutes les informations utiles concernant le produit (marché, énoncé du besoin, environnement du produit...), d'exprimer de manière fonctionnelle le besoin auquel répond le système en décrivant les fonctions de service du produit et, enfin, de spécifier le besoin en tenant compte des principales options techniques retenues. Le client participe donc également à la création du Cahier des Charges en exprimant le besoin.

### Les éléments du Cahier des Charges Fonctionnelles de la dalle podo-électrique

<b>Éléments du CdCF</b>	Notre dalle fera 45x45 cm
	Nous utiliserons des matériaux résistants à des températures comprises entre -50 °C et +45°C (avec une différence de $\pm 5^\circ\text{C}$ )
	Nous utiliserons des matériaux résistants au milieu ambiant comme aux Ultra-Violets, à l'eau...
	L'énergie produite sera stockée dans des batteries
	Ces batteries seront reliées à un réverbère afin de l'alimenter en énergie compatible
	La dalle ne devra pas s'enfoncer de plus de 1 cm (avec $\pm 5$ mm de différence) afin d'observer une démarche naturelle et d'éviter que le passant ne trébuche
	Nous utiliserons des matériaux recyclables à 75 % minimum

### III) Définitions

En réalisant l'analyse fonctionnelle externe de la dalle, plusieurs termes se révèlent être obscures. Il est donc intéressant de les définir.

#### A) Éclairage urbain

L'éclairage urbain est l'ensemble des systèmes utilisés pour illuminer la ville et permettre des déplacements sécurisés (bonne appréhension des lieux...). Il est principalement voire exclusivement constitué de réverbères (ou lampadaires).

#### B) Énergie de la marche

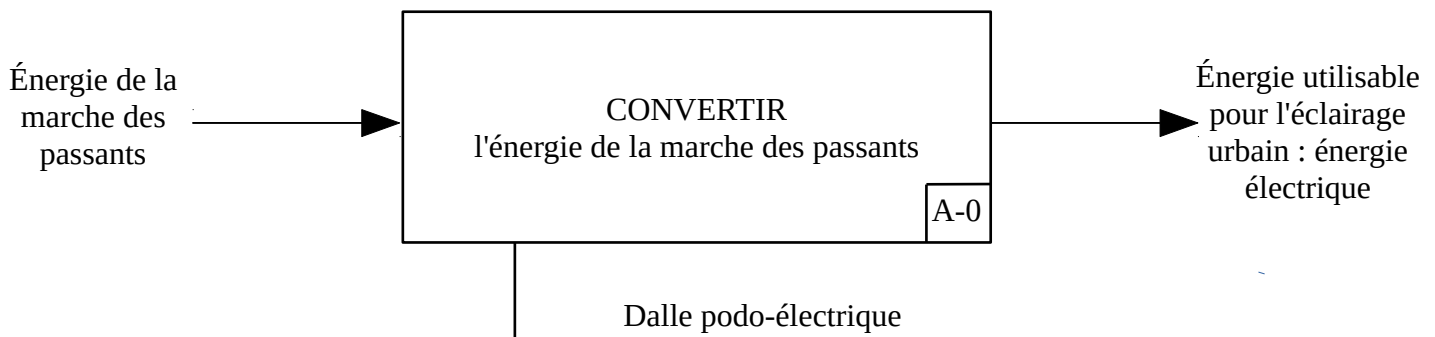
L'énergie de la marche (des passants) peut être définie comme étant l'énergie transmise par les pieds vers le sol. C'est une **énergie mécanique**.

### IV) Analyse Fonctionnelle Interne

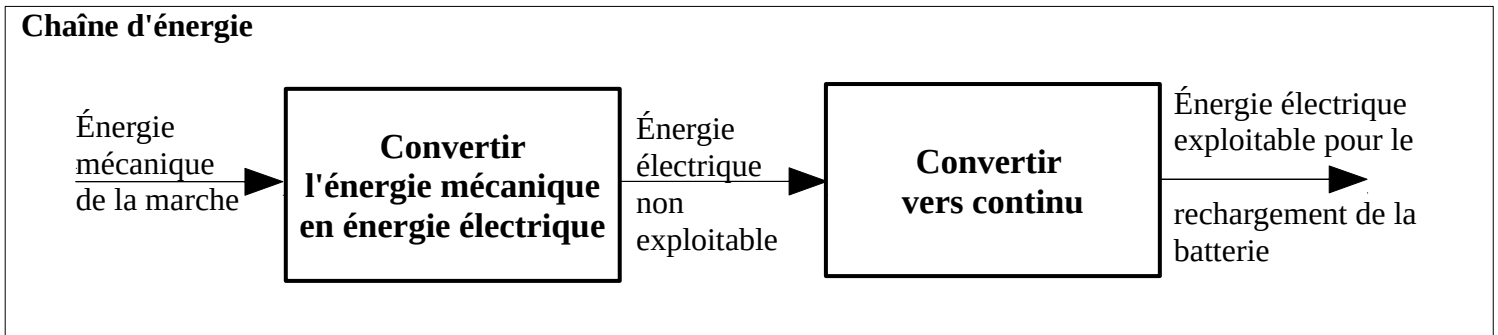
#### A) SADT

La méthode SADT est une méthode d'analyse fonctionnelle externe descendante qui permet de définir de manière plus ou moins détaillée les fonctions réalisées par le système (de la plus générale à la plus précise) avec le nom du système réalisant cette fonction mais également les matières d'œuvre entrante et sortante. Elle commence au niveau A-0 qui représente dans une boîte la fonction globale réalisée par le système. Puis, il y a le niveau inférieur A0 constitué de  $n$  fonctions représentées par des boîtes notées de A1 à An. De même, A1 peut être décomposée en boîtes A11, A12...

#### La SADT de niveau A-0 de la dalle



## B) Diagramme de chaîne énergétique

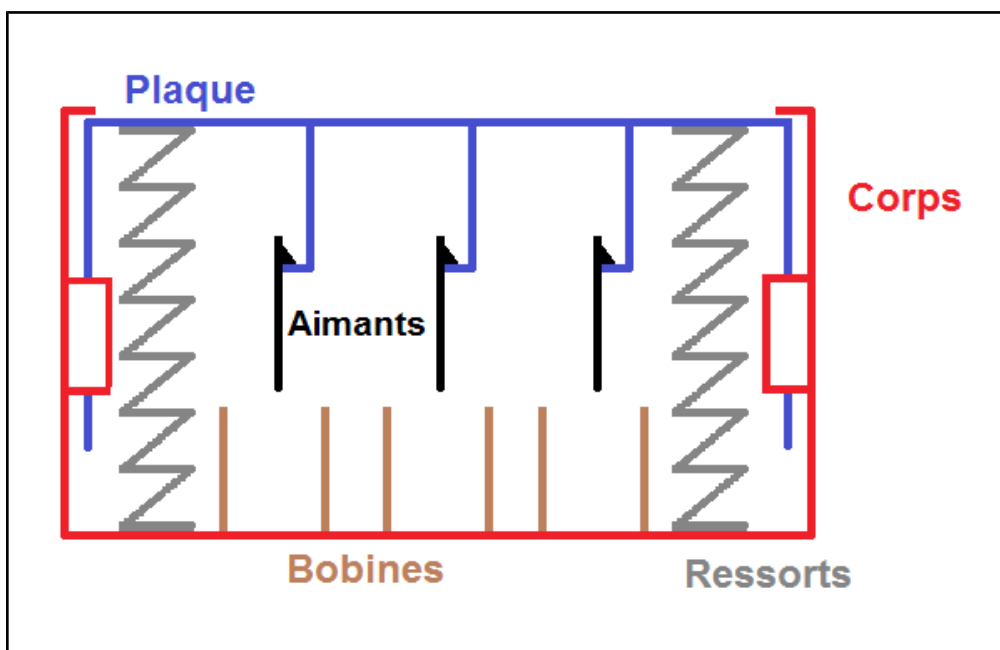


## V) Énonciation des solutions constructives

### A) Aimants et bobines

Cette solution est la plus simple. Elle est constituée d'un ou de plusieurs aimants positionnés au-dessus des bobines. Lorsqu'un passant marche sur la plaque de la dalle, la plaque s'enfonce avec les aimants. Ces derniers pénètrent donc à l'intérieur des bobines. Ces mouvements induisent un champ magnétique faisant apparaître une tension aux bornes des bobines. Nous nous basons sur cette propriété de la bobine pour cette solution. La tension fournie est alternative et il faudra la rendre continue pour alimenter et recharger une batterie.

Voici le schéma cinématique de cette solution constructive :

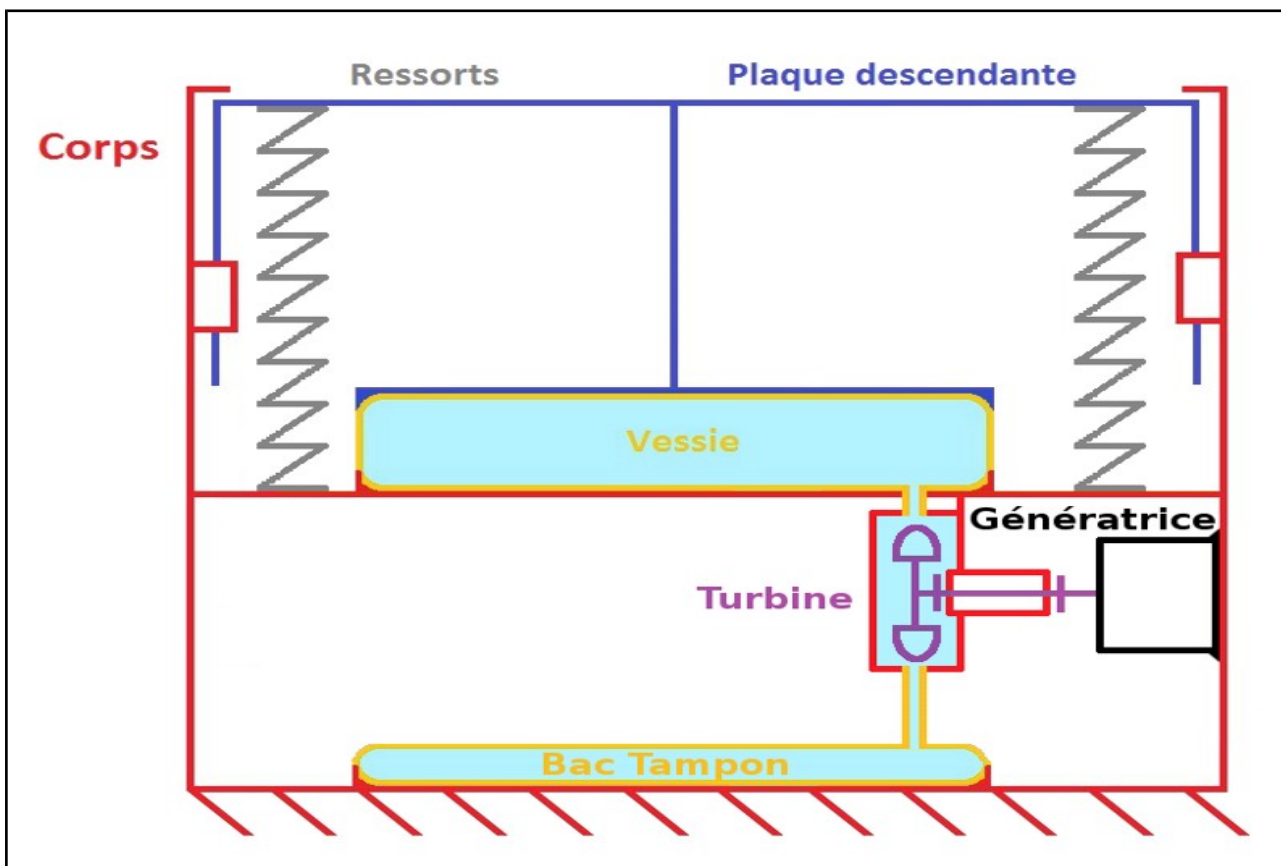




## B) Système hydraulique

Ce système est constitué de deux poches déformables et étanches (la « vessie » et le « bac tampon »). Lorsque la plaque est en position haute (personne n'est dessus), la vessie est remplie d'eau tandis que le bac tampon est vide. Lorsque le piéton marche sur la plaque, celle-ci comprime la vessie qui propulse alors l'eau qu'elle contient vers le bac tampon en faisant tourner, au passage, la turbine. Lorsque la plaque remonte (sous l'effet des ressorts), une dépression est alors créée dans la vessie, aspirant ainsi l'eau du bac tampon (de nouveau, la turbine tourne grâce au flux d'eau). Des clapets anti-retour, non représentés sur le schéma cinématique ci-dessous, permettent au flux d'eau de toujours faire tourner la turbine.

Voici le schéma cinématique de cette solution constructive :



### C) Dalle piézo-électrique

La piézoélectricité est une propriété que certains corps possèdent. Ainsi, lorsque qu'une contrainte mécanique (pression) est appliqué à ces corps, ils se polarisent, générant un champs électrique. A l'inverse, lorsqu'un champ électrique est présenté, le corps se déforme.

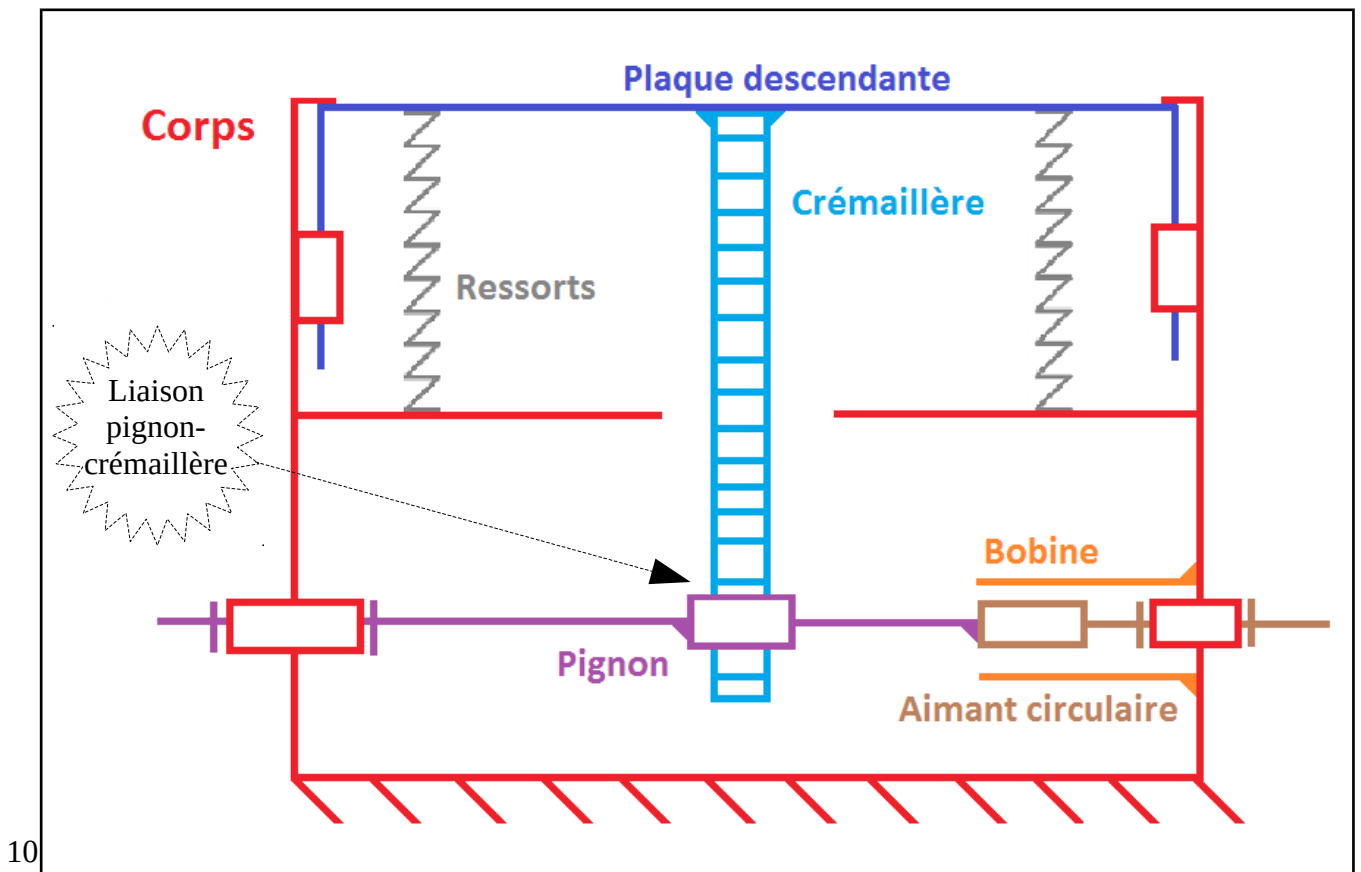
Nous prenons un matériau piézoélectrique, le quartz, que nous positionnons dans le coffrage de la dalle. Ce quartz est a l'intérieur d'une bobine, et la dalle va exercer une pression direct le quartz.

Étant soumis a une pression le quartz va générer un champs électrique qui va être capté par la bobine. Nous savons qu'une bobine, si elle est soumise à un champs électrique, va générer une intensité alternative qui va être récupérable, afin de redresser ce courant pour pouvoir recharger une batterie. Une fois le courant généré par la bobine, ce courant va passer par un convertisseur alternatif/continu afin de recharger la batterie qui alimentera l'éclairage urbain la nuit.

### D) Système à crémaillère

Cette solution est constituée d'une plaque sur laquelle est fixé une crémaillère. Cette dalle est en glissière par rapport au corps du système. Un axe passe par le corps avec une liaison pivot. Cet axe est relié à un pignon (denté) et à un aimant. Le pignon et la crémaillère sont liés entre eux par une liaison « pignon-crémaillère ». Ainsi, lorsqu'un passant marche sur la plaque, cette dernière descend avec la crémaillère. En descendant, cette crémaillère va faire tourner le pignon, faisant tourner, par la même occasion, l'aimant à l'intérieur d'une bobine. Cette bobine va alors générer de l'électricité. La tension produite est toujours alternative et il faudra donc la rendre continu afin de pouvoir recharger une batterie.

Voici le schéma cinématique de cette solution :



## VI) Choix de la solution

Nous avons mis de côté trois solutions pour divers raisons :

Le système hydraulique : le système est trop compliqué à réaliser, et trop risqué pour notre niveau de compétence. En effet, l'obtention de vessies et d'une turbine, en plus de leur mise en place, serait compliquée. De plus, si les vessies se percent, l'eau se déverserait sur les composants électriques, le système ne serait alors plus fonctionnel.

Le système piézo-électrique : le matériau piézoélectrique est rare (un cube de quartz assez imposant 30x30 cm).

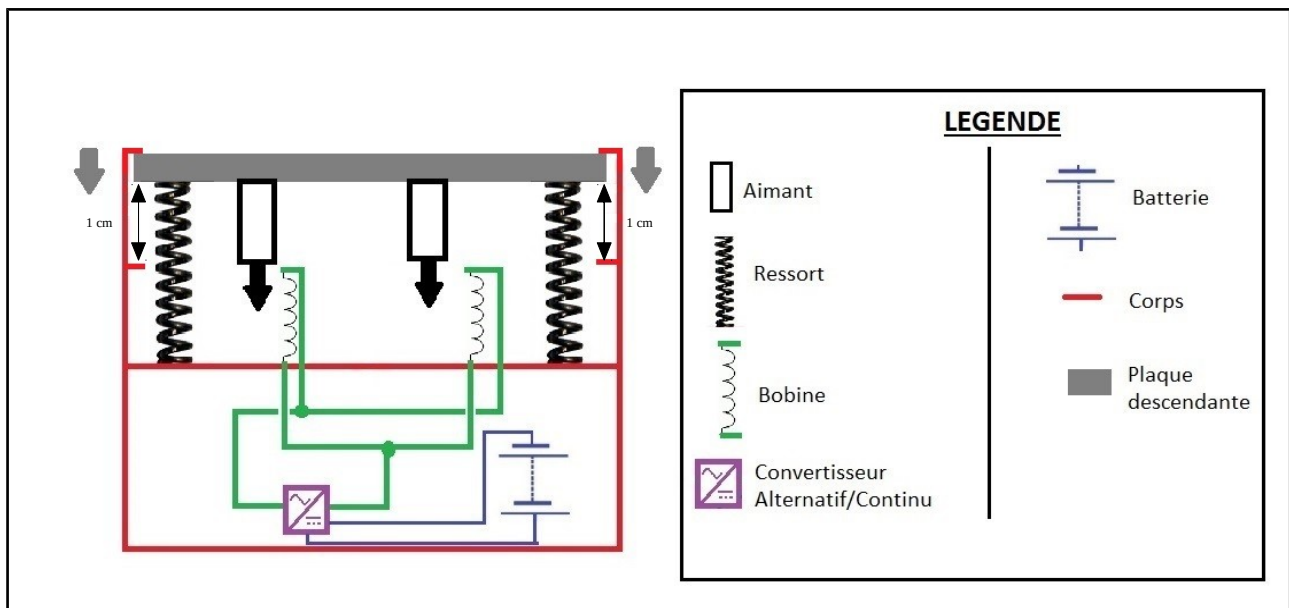
Le système à crémaillère : Le système est trop fragile. De plus, le système s'abîme et doit être remplacé avec le temps, à cause des frottements dus à la liaison pignon-crémaillère, engendrant des coûts supplémentaires. En outre, des nuisances sonore pourrait être créées par la crémaillère et le pignon, source de dérangements pour les passants.

Nous avons donc choisi la solution « **aimants bobines** », car plus simple à réaliser.

## VII) Conception du système choisi

Nous avons choisi la solution avec les aimants et les bobines A. Nous devons à présent passer à la phase de conception du système.

### A) Croquis



Quand la plaque descend sous le poids du passant, les ressorts – qui sont en encastrement avec la dalle – vont descendre avec cette plaque. Ce déplacement est montré par les flèches grises (mouvement de la plaque) et noires (mouvement des aimants). Lorsque les aimants descendent ils pénètrent dans les bobines, créant ainsi du courant électrique. Ce courant, afin de recharger une batterie, va passer par un convertisseur alternatif/continu. Nous chercherons, dans la suite de notre étude, à savoir de quoi est constitué ce convertisseur.

Dans ce système, quatre ressorts sont placés aux quatre coins de la dalle. Ils vont nous permettre de transmettre un effort de sens opposé à l'effort subit par ces ressorts. Ainsi, la plaque remontera lorsqu'il n'y aura plus de passant dessus. Ici, seulement deux ressorts sont représentés pour que le croquis soit plus simple.

Comme nous l'informe le Cahier des Charges Fonctionnelles, la plaque ne doit pas s'enfoncer de plus de 1 cm dans le corps. Ainsi, afin de limiter le mouvement de la plaque, un rebord sera posé à 1 cm de la dalle en position « remontée ».

## B) Ressorts

Dans le but de remonter la plaque après avoir été descendue sous l'effet du poids de la personne, nous utilisons des ressorts de compression. Nous en utiliserons quatre aux quatre coins du système.

Un ressort est une pièce mécanique qui utilise les propriétés élastiques de certains matériaux pour exercer un effort. C'est, en quelque sorte, un enroulement de fil en général en acier. Il permet d'exercer un effort contraire à l'effort reçu pour sa compression.

Un ressort de compression peut être défini par plusieurs paramètres comme la raideur  $k$ , le diamètre du fil  $d$ , le diamètre du ressort  $D$ , la flèche du ressort  $f$ , la longueur libre  $l_0$ ...

La longueur libre  $l_0$ , est la longueur que mesure le ressort quand aucun effort ne lui est appliqué.

La flèche  $f$ , est la différence entre la longueur libre  $l_0$  et la longueur  $l$  que mesure le ressort quand ses spires sont jointives (c'est-à-dire quand ses spires se touchent). Ainsi, on a :  $f = l_0 - l$

Le diamètre de fil, le diamètre du ressort, la flèche, la longueur libre et la longueur en spires jointives s'expriment en mm.



La raideur  $k$  d'un ressort à compression est sa résistance à la déformation élastique. Elle s'exprime en N/mm. Pour la calculer, on utilise la formule  $k = \frac{F}{f}$ .  $F$  correspond, ici, à la force exercée sur le ressort et s'exprime en newtons N.

On peut également définir un ressort avec son nombre de spires  $n$ , valeur adimensionnée. On peut le calculer à partir la relation suivante que nous admettrons :

$$f = \frac{8 \cdot n \cdot F \cdot D^3}{G \cdot d^4}$$

soit

$$k = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot n \cdot D^3}$$

Ainsi nous obtenons :

$$n = \frac{f \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot F \cdot D^3}$$

soit

$$n = \frac{G \cdot d^4}{k \cdot 8 \cdot D^3}$$

Le symbole  $G$  correspond au module d'élasticité transversal du matériau utilisé pour réaliser le ressort. Ce module est également appelé module de Coulomb et son unité est le N/mm<sup>2</sup>. Pour les aciers,  $G \approx 80\,000$  N/mm<sup>2</sup>.

Ce module caractérise l'élasticité d'un matériau dans le sens transversal d'une éprouvette (une pièce de fabrication et de dimensions normalisées destinée à des essais mécaniques afin de déterminer le comportement du matériau de cette éprouvette quand elle est soumise à certaines contraintes telles que traction, torsion...). Le module de Coulomb n'est pas à confondre avec le module de Young qui, lui, est le module d'élasticité longitudinal (ces deux modules étant liés par le coefficient de Poisson  $\nu$ ).

A présent que nous avons énoncé les principaux paramètres d'un ressort, nous devons **appliquer** ces calculs à notre projet :

- Le cahier des charges fonctionnelles nous informe que la dalle ne doit pas s'enfoncer de plus de 1 cm à l'intérieur du corps. Ainsi, nous pouvons déduire que la flèche  $f = 10$  mm.
- La masse moyenne d'un individu est de 70 kg et la pesanteur sur Terre est de 9,81 N/kg.

Ainsi, le poids moyen d'un individu sur la planète peut être donné par la relation suivante :

$$P = m \cdot g \quad \text{avec } g \text{ la pesanteur terrestre (en N/kg) ;}$$

$$P \text{ le poids (en N) ;}$$

$$m \text{ la masse (en kg).}$$

Application Numérique :  $P = 70 \times 9,81$   
 $P = 686,7 \text{ N}$

- Dans notre système, il y aura quatre ressorts. Ainsi, le poids de l'individu sera partagé entre eux. Avec  $k = \frac{F}{f}$ , nous avons donc  $F = \frac{P}{4}$ .

Par conséquent,  $k = \left(\frac{P}{f}\right) \cdot \left(\frac{1}{4}\right)$ .

Application numérique :  $k = \left(\frac{686,7}{10}\right) \times \left(\frac{1}{4}\right)$   
 $k \approx 17,17 \text{ N/mm}$

- A présent, afin de pouvoir représenter le ressort en trois dimensions, nous avons besoin de  $l_0$ , de  $d$ , de  $D$  et de  $n$ . Pour se faire, nous devons nous renseigner sur les ressorts déjà fabriqués afin de connaître les dimensions moyennes des ressort ayant une raideur aux alentours de 17,17 N/mm. Sur internet, nous observons qu'un tel ressort peut avoir comme dimensions :
  - $d = 3 \text{ mm}$
  - $D = 19 \text{ mm}$
  - $l_0 = 83,5 \text{ mm}$

Basons-nous sur la formule  $n = \frac{f \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot F \cdot D^3}$  pour calculer le nombre de spires  $n$ .

$$F = \frac{P}{4} \quad \text{. D'où } F = \frac{686,7}{4} \approx 171,68 \text{ N}$$

Application Numérique :  $n = \frac{10 \times 80000 \times 3^4}{8 \times 171,68 \times 19^3}$   
 $n \approx 6,88$

## C) Principe du magnétisme

- Principe :

Un aimant, possède un champs magnétique. De ce fait, si un aimant est en contact avec une bobine, cette dernière générera un courant ( sous forme d'intensité ) utilisable par l'Homme. Grâce a l'étude de ce magnétisme, nous avons pu déterminer plusieurs élément, tel que l'intensité générée, le champs magnétique présent ou encore les perméabilités du vide et de matériaux.

Une formule relie tout cela :

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N}{l} \cdot I$$

avec  $I$  l'intensité (en A)

$N$  le nombre de spires de la bobine

$l$  la longueur de la bobine (en m)

$\mu_r$  la perméabilité relative du matériau

$\mu_0$  la perméabilité relative du vide (en unité SI)

$B$  le champs magnétique ( en T )

Nous connaissons déjà quelques valeurs de ce calcul, grâce aux expérimentations réalisés en laboratoire de physique :

$B = 0,0468 \text{ T}$  (mesurée avec un teslamètre du champs magnétique de l'aimant)

$l = 0,043 \text{ m}$

$N = 2500$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  unité SI

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2,5}{500} = 0,005 \text{ A}$$

(  $U = 2,5$ , est la valeur mesurée par expérimentations )

(  $R = 500$  est la valeur de la résistance utilisé pour mesurer l'intensité )

Donc selon les expériences :

$$\mu_r = \frac{(B \cdot l)}{(N \cdot I \cdot \mu_0)}$$

Application numérique :  $\mu_r = \frac{(0,0468 \cdot 0,043)}{(4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2500 \cdot 0,005)} = 128,11$

Cependant la valeur théorique de  $\mu_r$  est de 50 pour l'aimant que nous utilisons.

Selon cette valeur, calculons les valeurs théoriques de  $I$  :

$$I = \frac{(B \cdot l)}{(N \cdot \mu_r \cdot \mu_0)} = \frac{(0,0468 \cdot 0,043)}{(4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2500 \cdot 50)} = 12,8 \text{ mA}$$

Donc la valeur théorique de  $U$  serait donnée avec la formule  $U = R \cdot I$

Application numérique :  $U = 500 \cdot 0,0128 = 6,4 \text{ V}$

• **Calcul des écarts :**

$$\text{écart relatif} = \left| \frac{(\text{Valeur théorique} - \text{Valeur obtenue})}{(\text{Valeur théorique})} \right| \cdot 100$$

Applications numériques :

➤ Pour  $U$  :

$$\text{écart relatif}_U = \left| \frac{(6,4 - 2,5)}{6,4} \right| \cdot 100 = 60,94 \%$$

➤ Pour  $I$  :

$$\text{écart relatif}_I = \left| \frac{(12,8 - 5)}{12,8} \right| \cdot 100 = 60,94 \%$$

Ces écarts importants peuvent s'expliquer par plusieurs paramètres :

- la température (qui influe sur le champ magnétique) ;
- l'isolation (le plastique entourant la bobine utilisée, isole la bobine du champ magnétique) ;
- la fluctuation du champ magnétique est ignorée ;
- la vitesse de translation de l'aimant dans la bobine est ignorée ;
- l'intensité et la tension est prise sur un instant  $t$  (aimant a l'intérieur de la bobine).

Par l'expérience, nous avons déjà eu ce type de résultat, cependant dans ces calculs, tout les paramètres évoqués plus tôt sont ignorés.

La vitesse, les études dynamiques et cinématiques ne sont pas prises en compte dans ce TPE. Ces études sont trop complexes pour notre niveau actuel.

Cependant nous avons le principe de cette étude :

Nous cherchons  $V_{ressort}$  (en m/s), la vitesse de compression du ressort  
Ce qui équivaut à  $V_{dalle}$ , et à  $V_{ressort}$ , la vitesse de translation de l'aimant dans la bobine

Il nous faut donc faire deux études pour parvenir à déterminer cette vitesse :

• **Étude dynamique du ressort :**

$$\Sigma F_{ext/ressort} = m \cdot a$$

$m_{ressort}$  est inconnue. Cette formule permet de déterminer  $a$  (en  $m/s^2$ )



• **Étude cinématique :**

Il s'agit d'un mouvement rectiligne uniformément varié puisque l'accélération est constante.

$$a \text{ (en m/s}^2\text{)}$$

$$\Delta x \text{ (en m)}$$

Ces 2 valeurs sont connues et nous permettront de déterminer  $V_{ressort}$  (en m/s) et  $t$  (en s).

A présent, déterminons l'unité de  $\mu_0$  pour vérifier l'homogénéité de la formule :

Nous avons la formule  $\epsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot c^2 = 1$  avec  $c$  la célérité (en m/s)

$\mu_0$  la perméabilité du vide (en unité SI)  
 $\epsilon_0$  (unité à déterminer)

Maintenant, déterminons l'unité de  $\epsilon_0$  avec la formule de la force attractive  $N$ .

$$kg \cdot m \cdot s^{-2} = \frac{1}{(4\pi \cdot \epsilon_0)} \cdot A^2 \cdot s^2 \cdot m^{-2} \quad (\text{Le calcul n'est fait que d'unités dans le cas présent})$$

$$\epsilon_0 = A^2 \cdot s^2 \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1} \cdot s^2 = A^2 \cdot s^4 \cdot m^{-3} \cdot kg^{-1}, \text{ l'unité de } \epsilon_0.$$

Reprenons donc la formule de  $\epsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot c^2 = 1$  (en analyse dimensionnelle)

$$\mu_0 = \frac{1}{(c^2 \cdot \epsilon_0)} = s^2 \cdot m^{-2} \cdot A^{-2} \cdot s^{-2} \cdot m^3 \cdot kg = s^{-2} \cdot m \cdot A^{-2} \cdot kg$$

donc, en guise de vérification :  $\mu_0 \cdot \epsilon_0 = s^2 \cdot m^{-2} = \frac{1}{c^2}$

Ainsi, vérifions si la formule  $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N}{l} \cdot I$  est homogène, en sachant que

$$T = kg \cdot A^{-1} \cdot s^{-2} :$$

Analyse dimensionnelle de  $I$  :

$$\rightarrow kg \cdot A^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2} \cdot m \cdot A^{-2} \cdot kg \cdot m^{-1} \cdot A = kg \cdot A^{-1} \cdot s^{-2} = s^{-2} \cdot A^{-1} \cdot kg$$

## D) Batterie

La dalle podo-électrique a pour but d'alimenter l'éclairage urbain. Ainsi, les réverbères n'ont besoin d'être alimenté en électricité seulement à la nuit tombée. Pourtant, l'énergie électrique est principalement fournie durant la journée, quand la fréquentation des rues est la plus importante. Par conséquent, il est nécessaire que cette énergie soit stockée car, sinon, les lampadaire serait alimenté toute la journée et l'énergie générée serait perdue. Pour l'accumuler, nous pouvons utiliser donc une « batterie d'accumulateurs », plus couramment appelée « batterie ».

Ces batteries sont constituées de cellules ou accumulateurs électriques reliées entre elles afin de créer un générateur de tension et de capacité désirée.

Nous pouvons également utiliser un simple accumulateur tel qu'une pile rechargeable.

Le choix de la batterie se fera en fonction de la charge que l'on souhaite. Pour la connaître, nous devons calculer l'énergie nécessaire à la batterie pour que le réverbère s'allume toute la nuit.

Ainsi, nous utilisons cette relation :

$$E_{batterie} = P_{ampoule} \cdot t_{allumage}$$

avec  $E_{batterie}$  l'énergie nécessaire à la batterie (en W.h)

$P_{ampoule}$  la puissance de l'ampoule (en W)

$t_{allumage}$  le temps d'allumage de l'ampoule (en h)

Nous savons que la puissance d'une ampoule utilisée dans un réverbère public d'environ 60 W et que la durée de la nuit au maximum est d'environ 16 heures.

Application numérique :  $E_{batterie} = 60 \times 16$

$$E_{batterie} = 960 \text{ W} \cdot \text{h}$$

soit  $E_{batterie} \approx 3,46 \times 10^6 \text{ J}$

A présent, afin de choisir la bonne batterie, il faut calculer la capacité de la batterie. Pour calculer cette capacité, nous nous basons sur plusieurs relations :

$$Q = I \cdot t \quad \text{avec } Q \text{ la capacité de la batterie (en A.h)}$$

$I$  l'intensité (en A)

$t$  le temps d'utilisation (en h)

$$E = P \cdot t \quad \text{avec } E \text{ l'énergie (en W.h)}$$

$P$  la puissance (en W)

$t$  le temps d'utilisation (en h)

$$P = U \cdot I \quad \text{avec } P \text{ la puissance (en W)}$$

$U$  la tension (en V)

$I$  l'intensité (en A)

Ainsi,  $E = U \cdot I \cdot t$  et  $Q = \frac{E}{U}$  .

Par conséquent,  $Q_{batterie} = \frac{E_{batterie}}{U_{batterie}}$  avec  $Q_{batterie}$  la capacité de la batterie (en A.h)

$E_{batterie}$  l'énergie nécessaire à la batterie (en W.h)

$U_{ampoule}$  la tension nécessaire à l'ampoule (en V)

Les ampoules utilisées dans les réverbères ont besoin d'une tension de 230 V.

Application numérique :  $Q_{batterie} = \frac{960}{230}$   
 $Q_{batterie} \approx 4,2 \text{ A.h}$

Il faut donc choisir une batterie ayant une capacité d'environ 4,2 A.h.

### **E) De l'alternatif au continu**

Précédemment, nous avons exprimé l'idée qu'une batterie est seulement rechargeable grâce à un courant continu. Or, le courant fourni en sortie de bobine est alternatif. Il faut donc le rendre continu.

Tout d'abord, il faut rendre la tension unidirectionnelle. Pour se faire, il faut utiliser un pont redresseur de tension.

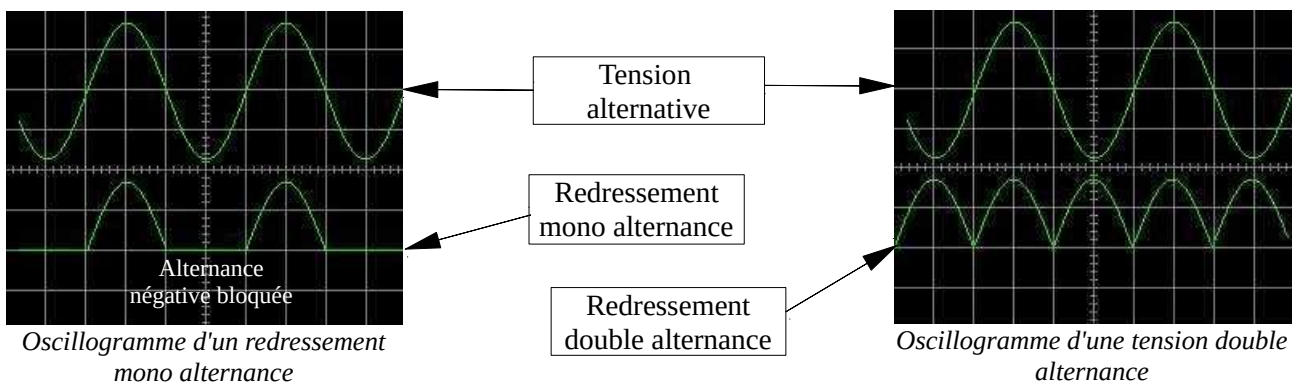
Un pont redresseur, ou pont de diodes, consiste en un enchaînement particulier de diodes.

Si nous utilisons une seule diode en série avec le montage, nous obtiendrons un redressement **mono alternance** très peu efficace. Afin d'optimiser le circuit, il faut utiliser quatre diodes montées de façon similaire au « pont de Graetz » ou pont de diodes. Lors d'une alternance positive  $V$ , le courant traverse seulement les deux diodes qui ont une tension d'anodes (dans une diode à jonction P-N, l'anode correspond à la région de la diode dopée en P) supérieure à la tension de cathodes (dans une diode à jonction P-N, la cathode correspond à la région de la diode dopée en N), les deux autres diodes ne laissent pas passer le courant. Pour une alternance négative  $-V$ , ce sont les deux autres diodes qui conduisent. On obtient alors un **redressement double alternance**. Ainsi, nous aurons toujours en valeur du courant de sortie la valeur absolue de la valeur du courant reçue en entrée.

Ce montage possède des avantages tout comme des inconvénients :

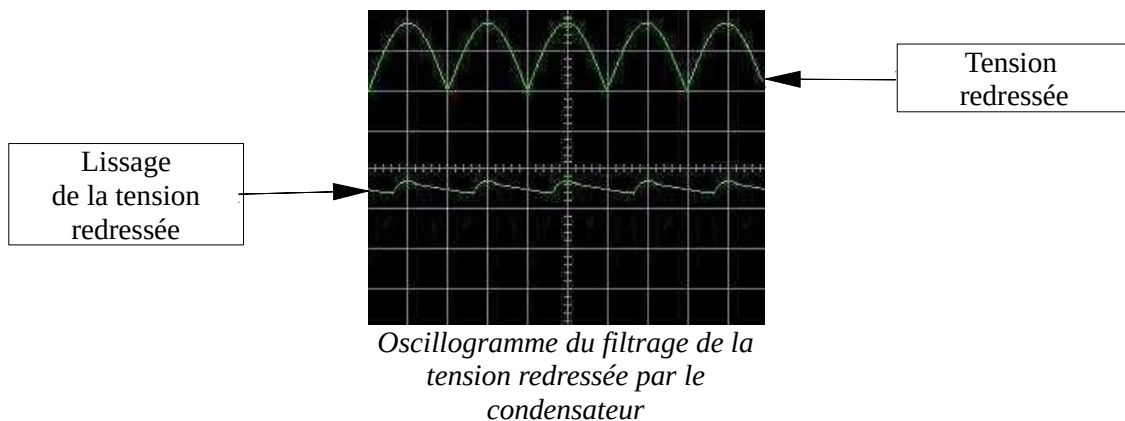
<b>AVANTAGES</b>	<b>INCONVÉNIENTS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- C'est un montage très économique.</li> <li>- Les diodes bloquées ne sont soumises qu'à une tension inverse de <math>V_{max}</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La chute de tension dans le pont est égale à deux fois la tension d'une diode dans le sens passant, ce qui est gênant pour les faibles tensions. Elle est égale à <math>0,7 \times 2 = 1,4</math> V pour les diodes au silicium.</li> <li>- La tension de sortie n'est pas réglable.</li> </ul>

Ainsi, le redresseur reçoit en entrée une tension alternative et fournit en sortie une tension redressée, c'est-à-dire unidirectionnelle.



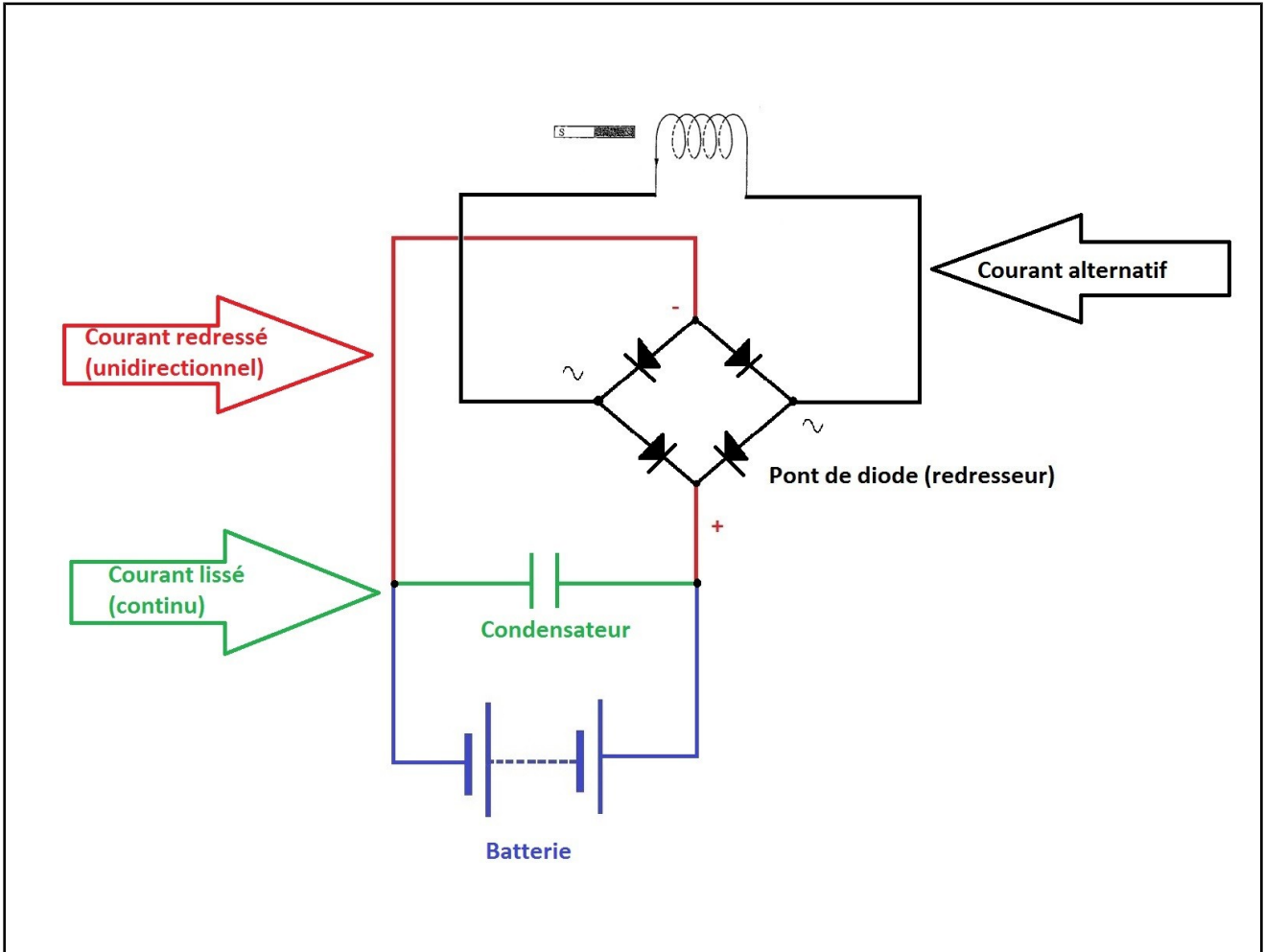
A présent, il faut rendre la tension la plus continue possible pour pouvoir recharger la batterie. Ainsi, il faut la filtrer. Nous utilisons, pour ce faire, un condensateur.

Pour comprendre le principe du condensateur, nous pouvons procéder par analogie. Prenons l'exemple des pompes à eau. Lorsque l'on pompe pour faire sortir l'eau dans le seau, cette eau jaillit violemment en jets. Si l'on veut que l'eau sorte de façon continue, il suffit de rajouter un bac avant la sortie d'eau avec un orifice de sortie assez petit pour que l'eau de la pompe puisse alimenter le bac avant qu'il ne se vide. Ici, le condensateur joue le rôle du bac.



La tension obtenue est à peu près continue et est apte à recharger une batterie. La tension est dite lissée.

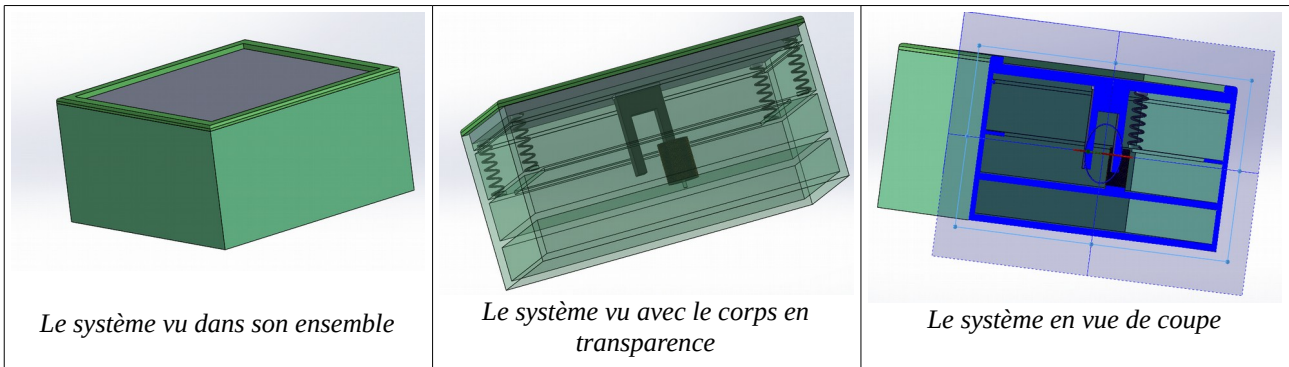
Ainsi, nous pouvons représenter le système grâce à ce système électrique :



## F) Représentation en trois dimensions

*Nous représentons le système grâce à SolidWorks.*

Voici différentes vues du système en trois dimensions :

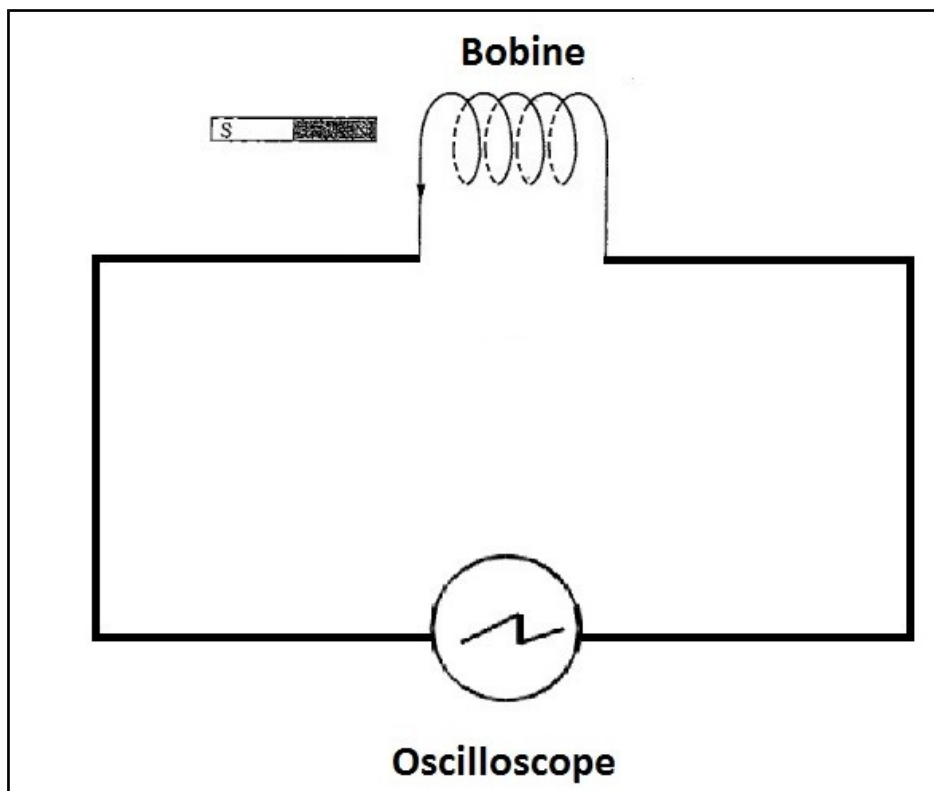


## VIII) Test du modèle réel

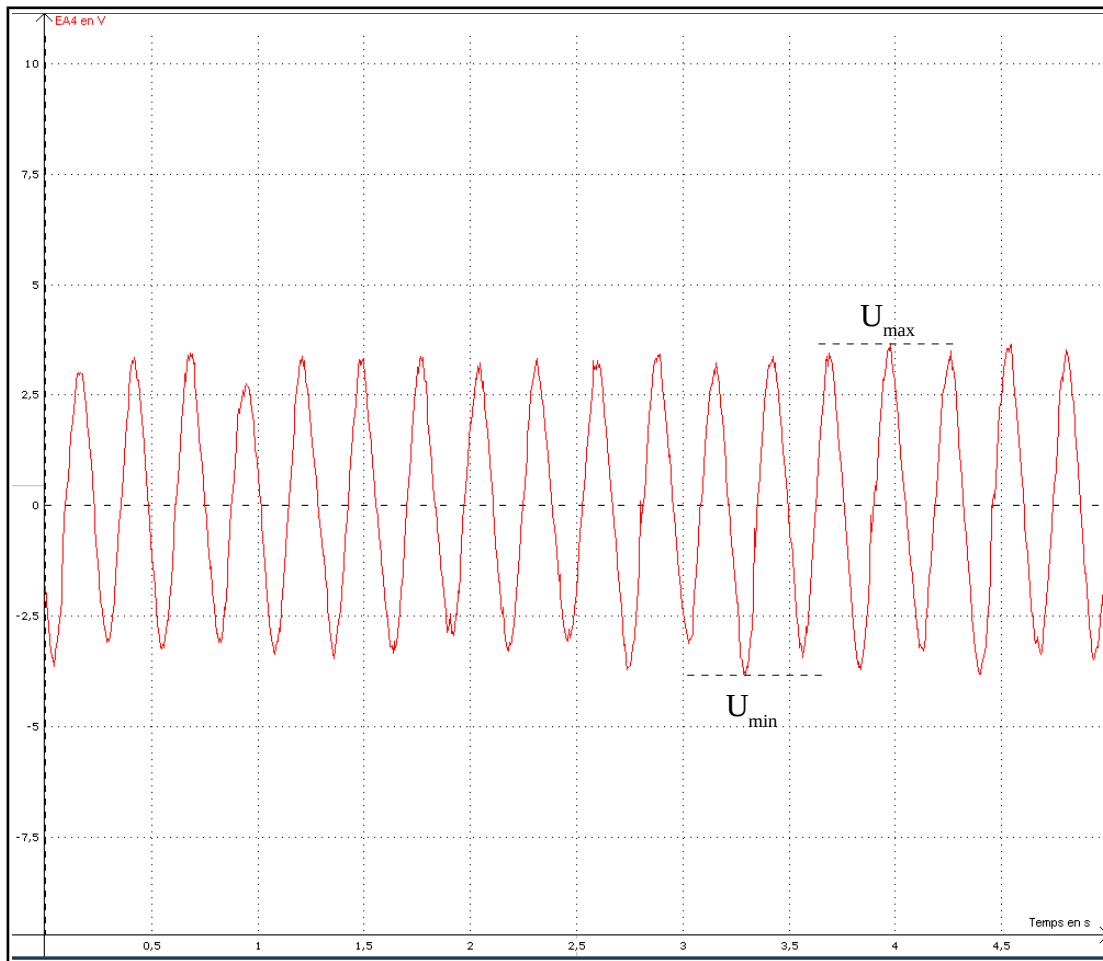
*Vis-à-vis du coût actuel du cuivre, nous ne pouvons pas nous procurer une bobine de cuivre pour le projet. Ainsi, nous ferons des tests en laboratoire avec une bobine.*

### A) Relevé de tension

Pour relever la tension produite quand l'aimant passe à travers la bobine, nous allons utiliser un oscilloscope. Nous réalisons ce montage :



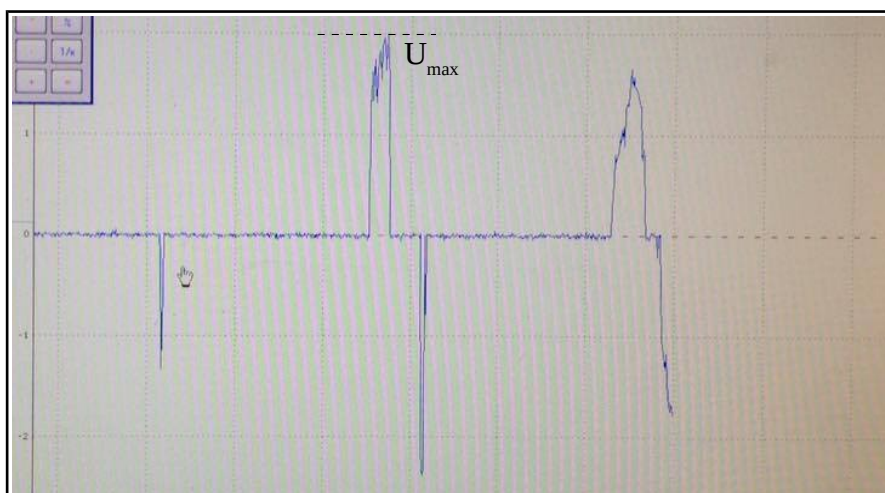
Voici ce que l'on obtient sur l'oscilloscope :



La tension obtenue est variable, c'est-à-dire qu'elle varie dans le temps, et bidirectionnelle, ce qui signifie qu'elle est alternativement positive et négative. La tension maximale  $U_{max}$  est d'environ 3,5 V et sa tension minimale  $U_{min}$  est d'environ -3,5 V.

## B) Relevé de l'intensité

Nous prenons la tension aux bornes d'une résistance. L'oscilloscope montre une telle tension aux bornes de la résistance :



Ainsi, nous pouvons calculer l'intensité grâce à la formule  $U = R \cdot I$  avec  $U$  la tension (en V)  
 $R$  la résistance (en  $\Omega$ )  
 $I$  l'intensité (en A)

D'où,  $I = \frac{U}{R}$  .

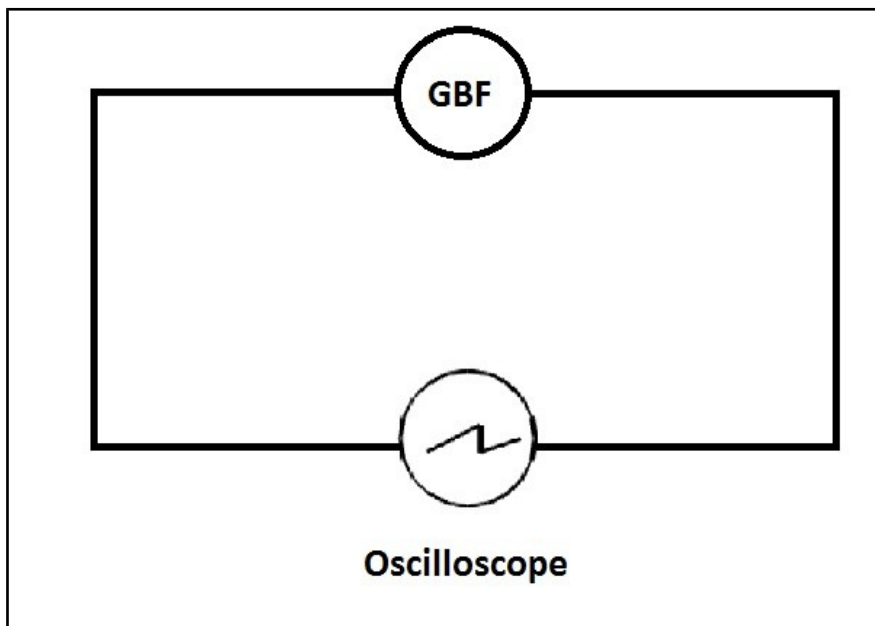
Ici, la résistance  $R$  utilisée est de  $500 \Omega$  et la tension que l'on utilise est la tension  $U_{max}$  de 2 V

Application numérique :  $I = \frac{2}{500}$   
 $I = 0,004 \text{ A}$   
 $I = 4 \text{ mA}$

### C) Test du convertisseur alternatif/continu

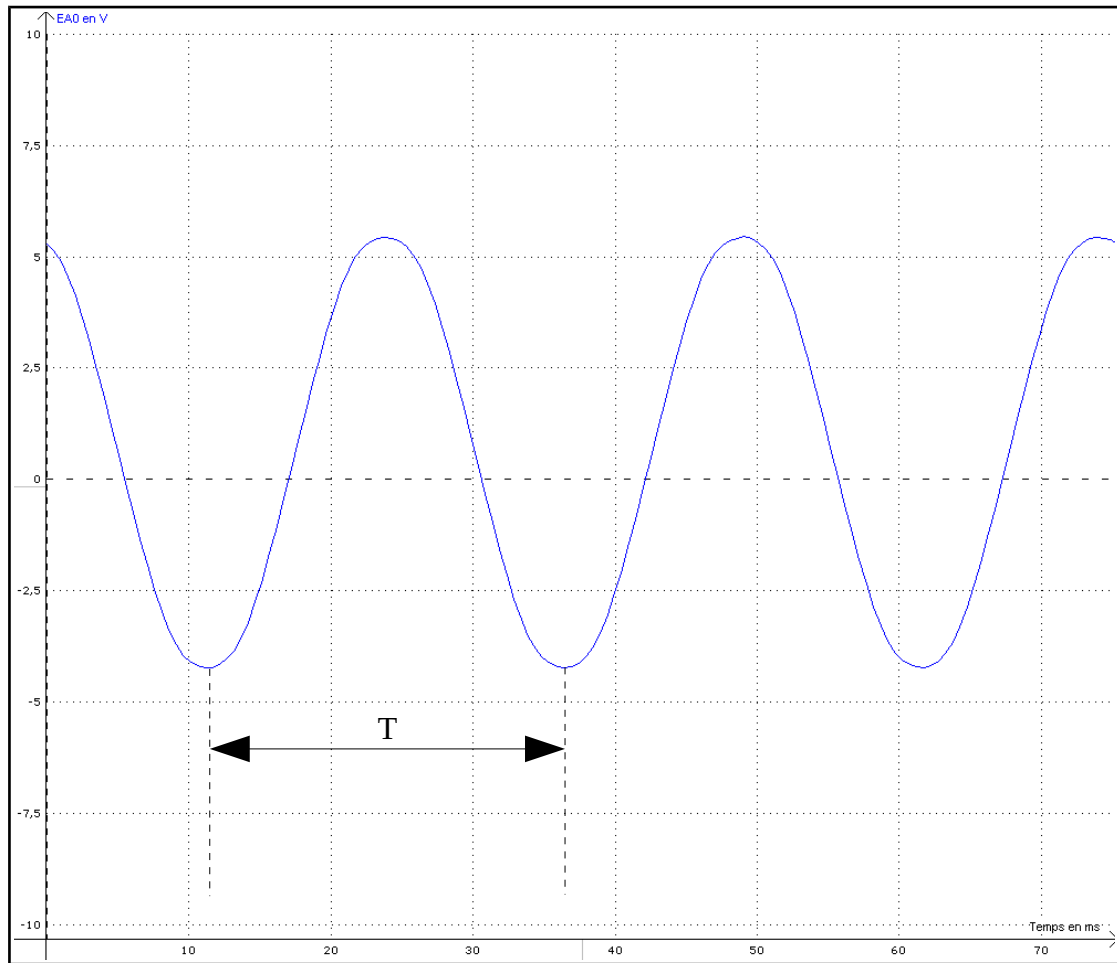
Afin de tester le pont diviseur avec le condensateur comme convertisseur alternatif/continu dans les meilleures conditions, nous allons utiliser, en premier lieu, un GBF (Générateur de Basses Fréquences) qui va remplacer la bobine.

Tout d'abord, nous devons avoir un « relevé de référence ». Nous allons donc relever la tension aux bornes d'un GBF grâce à un oscilloscope :



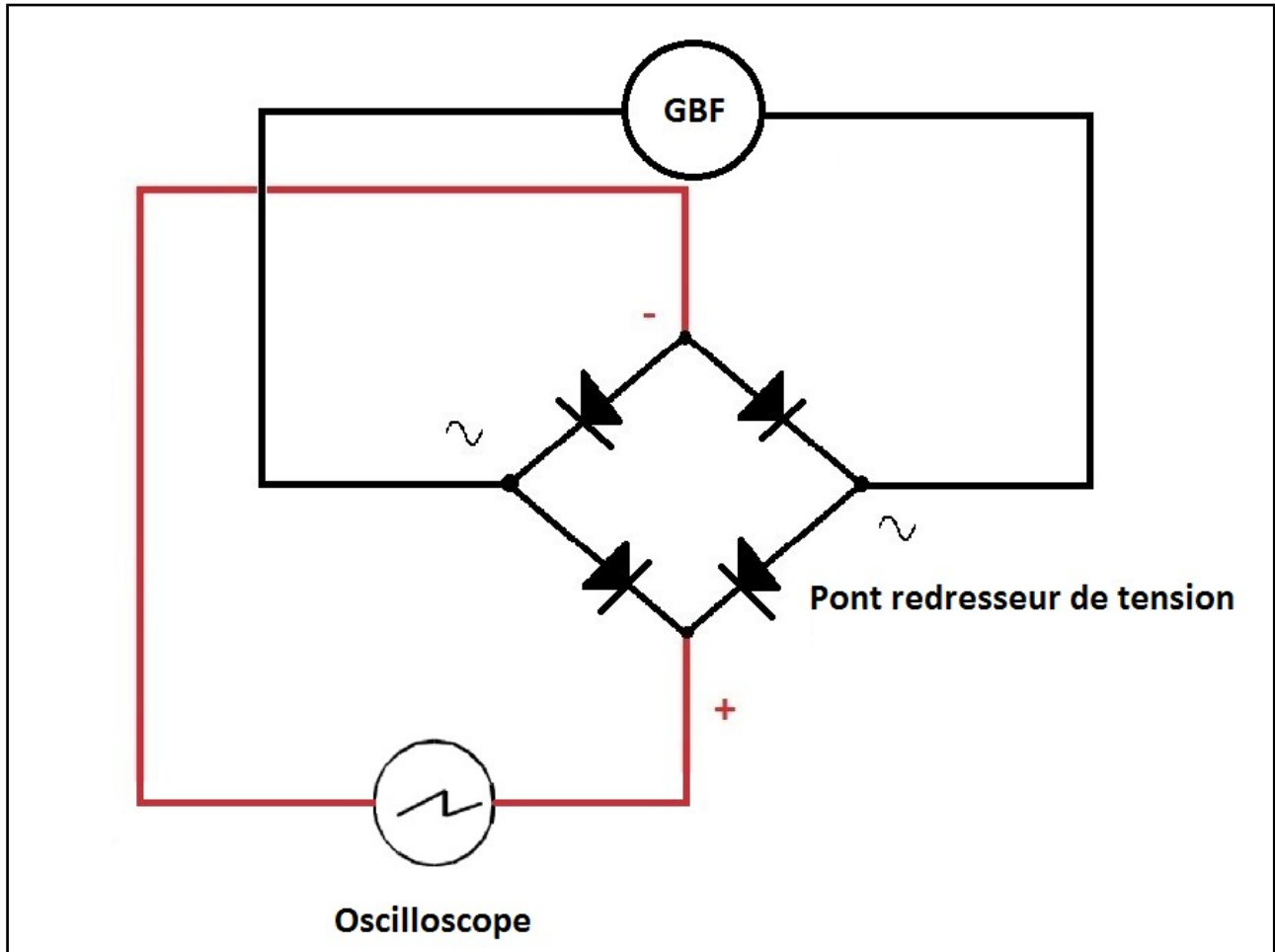


L'oscilloscope nous montre alors la tension suivante :

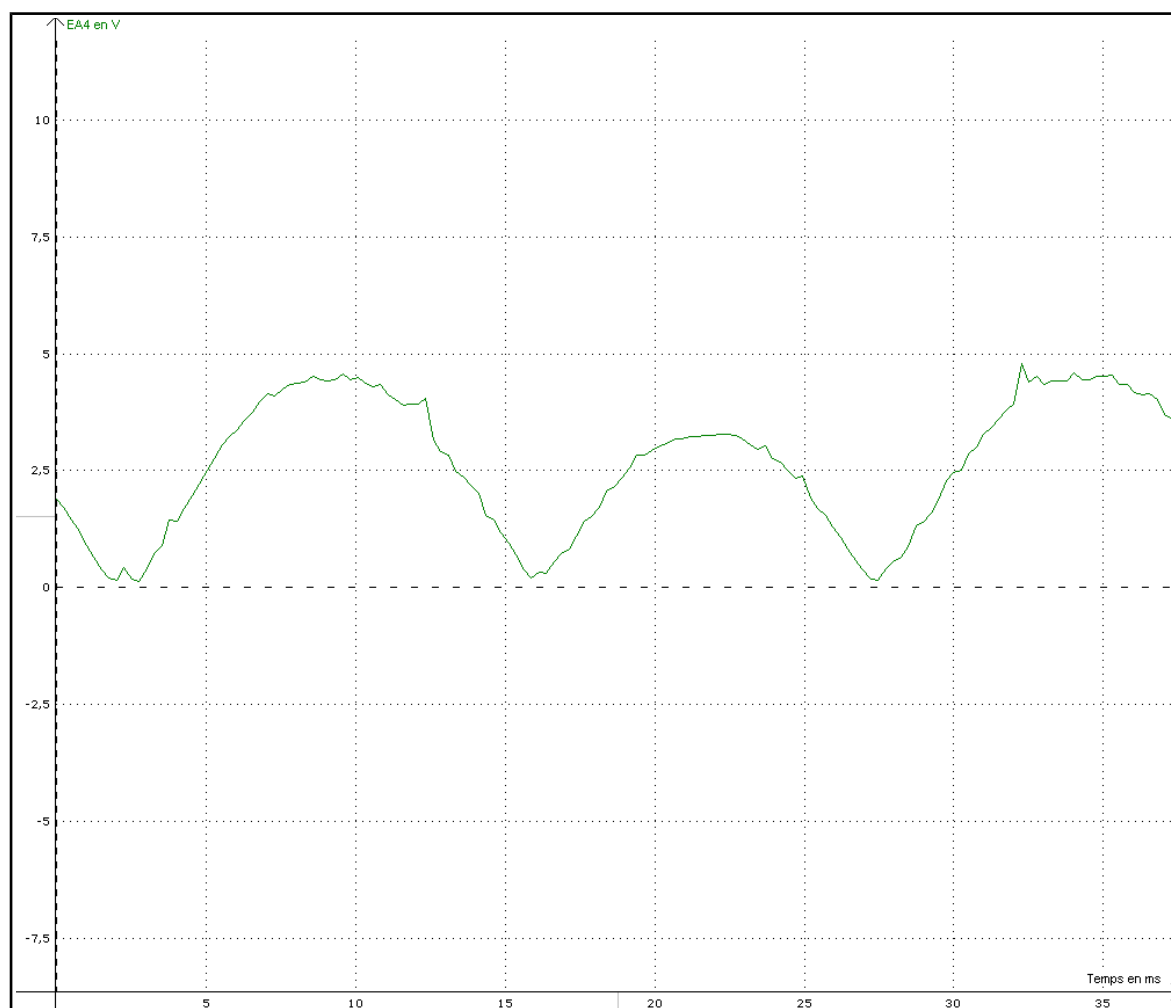


La tension obtenue est une courbe de forme sinusoïdale. Elle est bidirectionnelle, c'est-à-dire alternativement négative et positive, mais également périodique, ce qui signifie qu'une période  $T$  se répète dans le temps. Cette tension est donc alternative.

A présent, nous devons tester le pont redresseur. Pour ce faire, nous réalisons ce montage électrique :

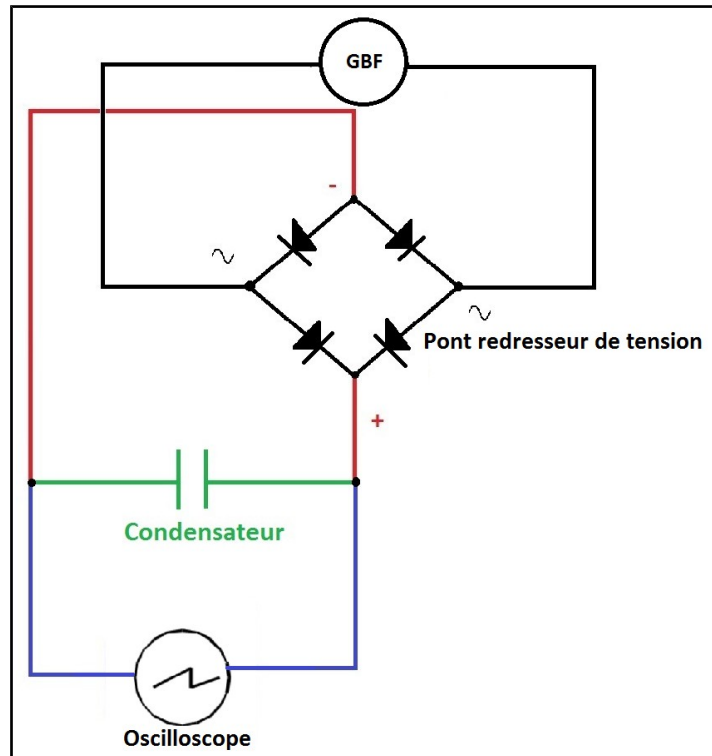


En sortie du pont redresseur, nous obtenons cette tension :

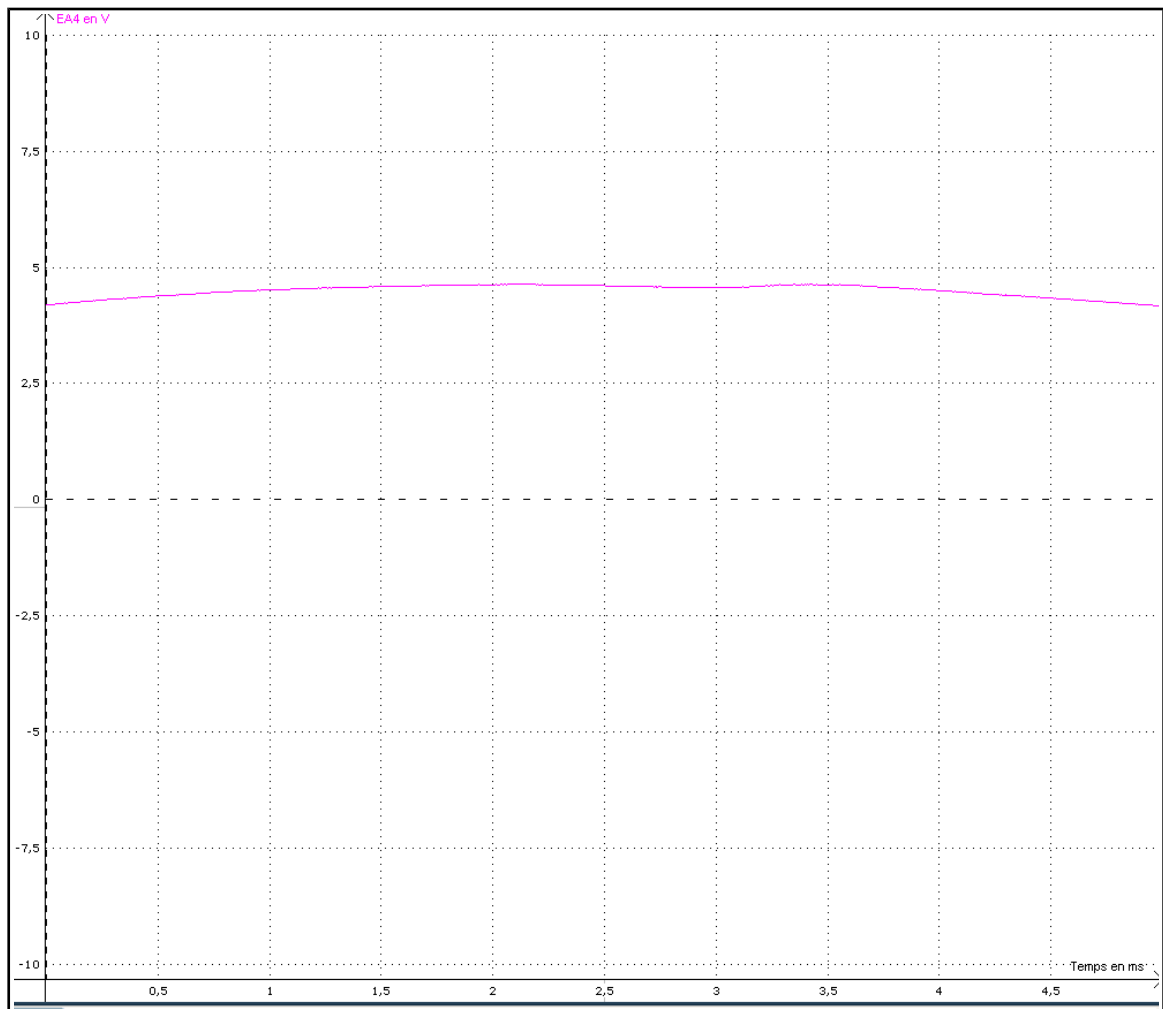


Cette tension est dite redressée : elle est variable (qui varie dans le temps) mais également unidirectionnelle (elle est seulement positive).

Maintenant, nous devons prouver que l'ajout d'un condensateur en parallèle permet de rendre continue la tension. Nous réalisons ainsi ce montage :



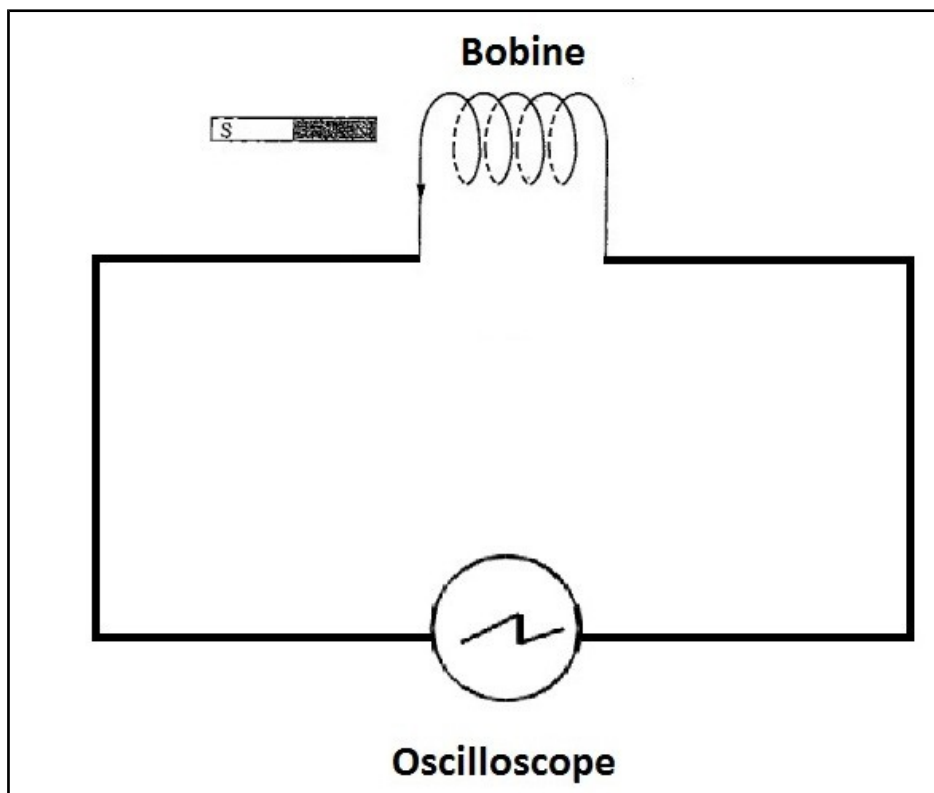
L'oscilloscope nous trace alors cette courbe de tension :



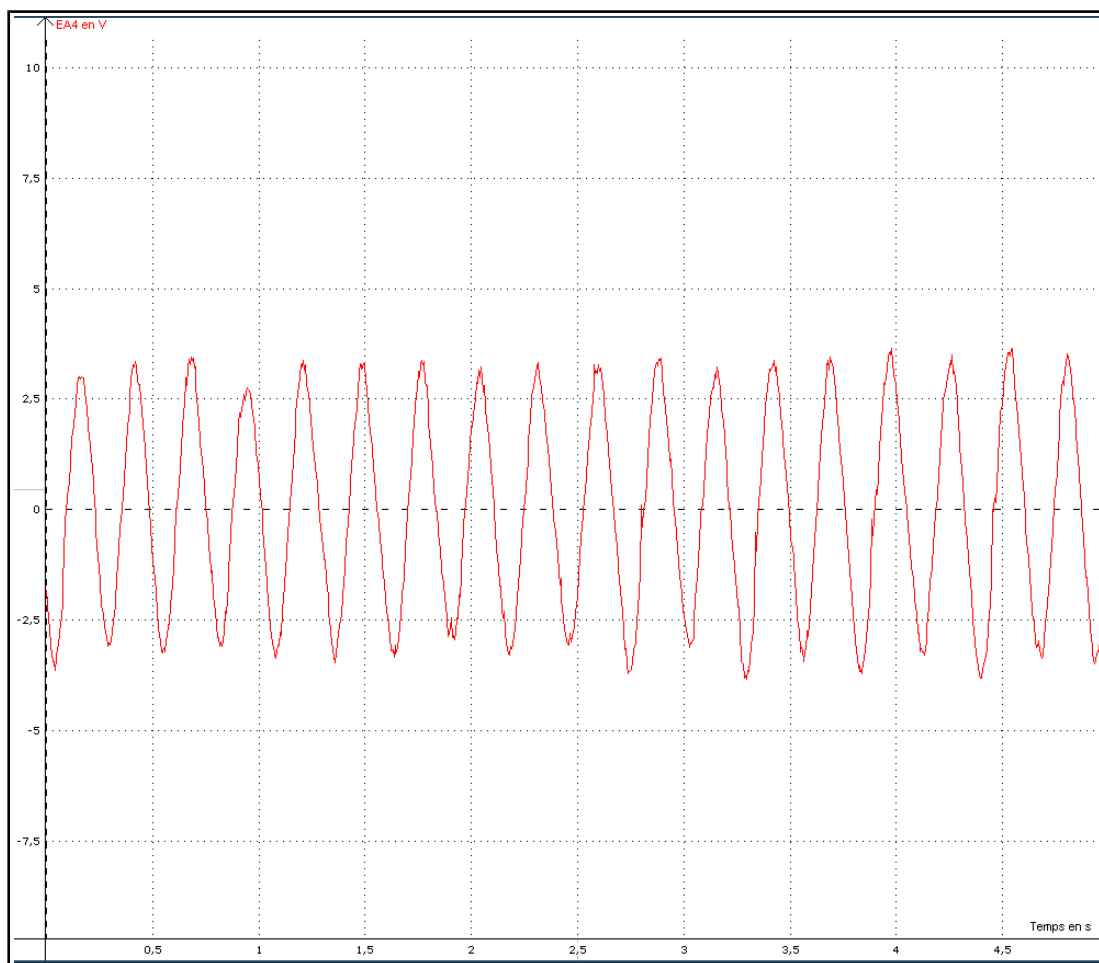
Cette tension alors obtenue est lissée : elle est relativement continue et est apte de recharger une batterie.

Nous avons ainsi prouvé que notre convertisseur alternatif/continu fonctionne. Nous devons, dès lors, prouver que ce convertisseur marche avec la bobine à la place d'un GBF.

Nous devons avoir, comme précédemment, une tension de référence. Pour ce faire nous allons faire un montage similaire à celui de la partie A :

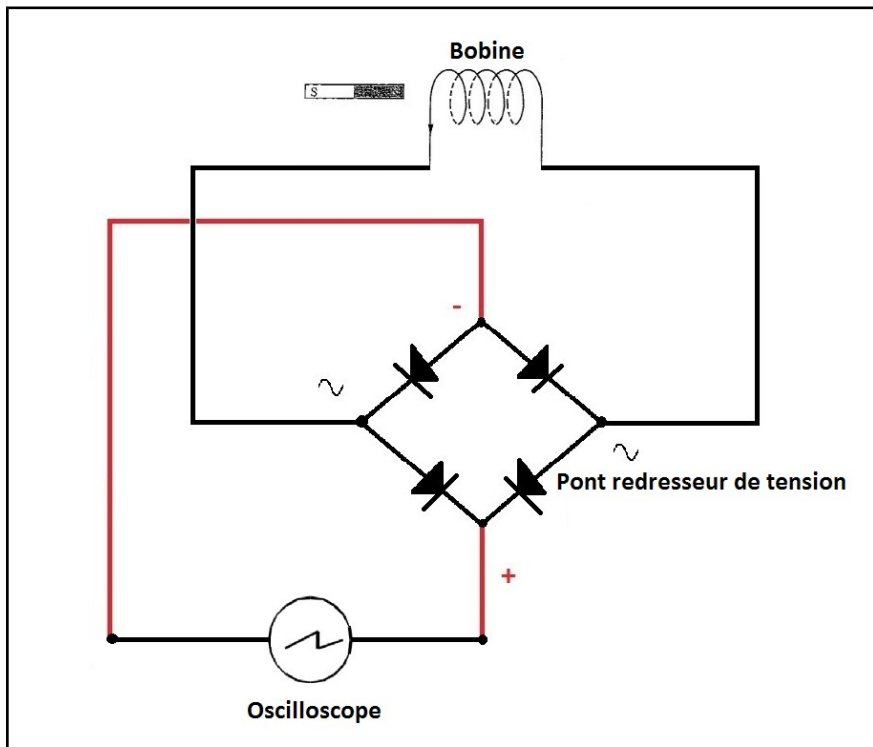


Nous obtenons alors cette tension sur l'oscilloscope lorsque l'aimant pénètre et ressort de la bobine :

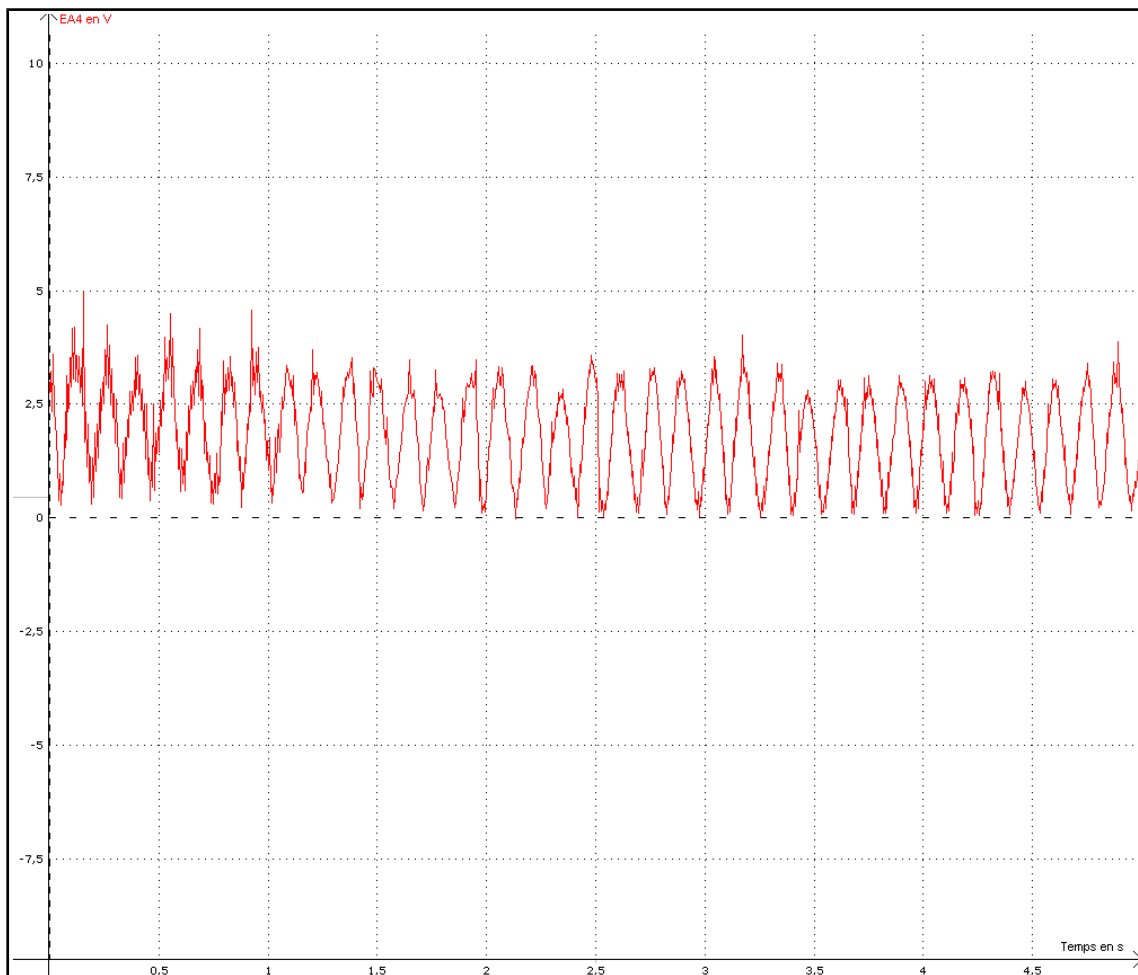


Cette tension peut être considérée de variable mais également de bidirectionnelle.

A présent, réalisons ce montage électrique :

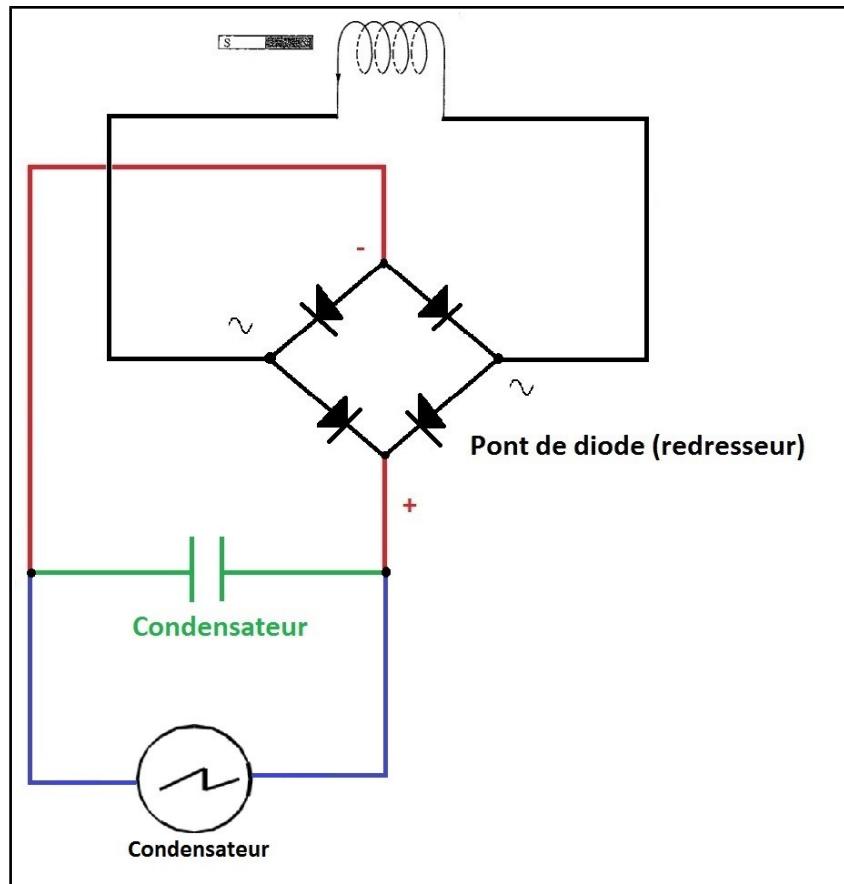


En sortie du pont redresseur, nous obtenons cette tension :



La tension alors obtenue est redressée : elle est variable et unidirectionnelle. Le pont de diodes fonctionne donc bien avec une tension, à la base, variable fournie par la bobine.

Nous devons prouver qu'un condensateur en parallèle va lisser cette tension. Nous allons donc faire ce montage :





La tension que nous observons sur l'oscilloscope, grâce au même convertisseur que celui pour le GBF, n'est, au départ, pas redressée. Cela s'explique par la fréquence des tensions fournies par le GBF et la bobine :

$$f = \frac{1}{T} \text{ avec } f \text{ la fréquence (en Hz)}$$

$T$  la période (en s)

➤ Pour le GBF :

On a  $T \approx 2,5 \text{ ms} \approx 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ .

Application numérique :  $f_{GBF} \approx 400 \text{ Hz}$

➤ Pour la bobine :

Si on admet que la tension fournie est alternative, on a  $T \approx 0,5 \text{ s}$ .

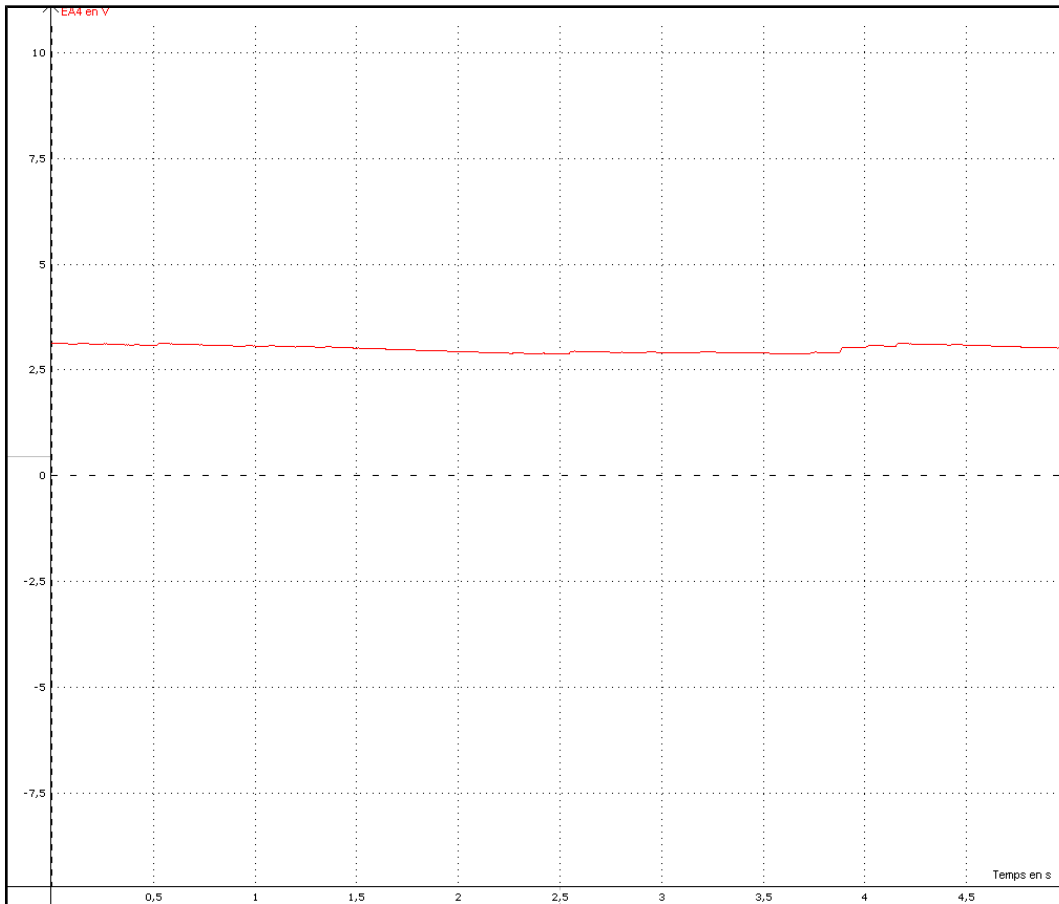
Application numérique :  $f_{bobine} \approx 2 \text{ Hz}$

Ainsi, la tension fournie par le GBF est beaucoup plus « rapide » que celle délivrée par la bobine. Ainsi, dans le cas du GBF, le condensateur se remplit mais n'a pas le temps de se vider alors que pour la bobine, le condensateur a le temps de se remplir puis de se vider. Ainsi, il faut augmenter le temps de charge et de décharge du condensateur. Ainsi, selon cette formule que nous admettrons :

$$\tau = R \cdot C \text{ avec } \tau \text{ la durée de charge d'un condensateur (en s)}$$

$R$  la résistance (en  $\Omega$ )  
 $C$  la capacité du condensateur en (en F)

Par conséquent, pour augmenter cette durée de charge, il faut soit augmenter la résistance  $R$  ou la capacité du condensateur  $C$ . Pour notre cas, nous allons augmenter la capacité du condensateur. Notre condensateur de base était de 15 nF. De manière empirique, nous avons déterminé que la capacité nécessaire était de 12  $\mu$ F, une capacité près de mille fois supérieure à celle du condensateur de base. En mettant ce condensateur en parallèle avec le pont redresseur, nous obtenons cette tension sur l'oscilloscope :



Ainsi, cette tension peut être qualifiée de lissée : elle est relativement continue et peut recharger une batterie.

En conclusion, avec un condensateur adapté, le convertisseur marche avec la tension fournie par la bobine lorsque l'aimant pénètre et sort de cette dernière.

## **IX) Conclusion**

L'énergie de la marche est une énergie mécanique et l'éclairage urbain (principalement constitué de lampadaires) à besoin d'énergie électrique. Afin d'alimenter cet éclairage, il faut convertir l'énergie mécanique en énergie électrique. Ainsi, nous avons décidé d'utiliser un système constitué d'une bobine et d'un aimant. Par conséquent, quand un passant marche sur la dalle, alors le mouvement de l'aimant, qui est encastré à la dalle, dans la bobine va créer de l'électricité : l'énergie mécanique est donc convertie. Pourtant, l'énergie alors créée ne doit pas être directement transmise dans le réseau électrique pour l'éclairage puisque l'on doit l'utiliser la nuit, pour allumer les réverbères.

Dès lors, il faut conserver l'énergie dans une batterie pour être retransmis le soir dans le réseau électrique urbain pour cet éclairage. Seulement, une batterie doit être rechargée par un courant continu et le courant obtenu en sortie de bobine est variable. Ainsi, il faut rendre le courant continu. Nous allons donc utiliser un pont redresseur en parallèle avec un condensateur. En sortie, le courant sera alors continu et apte à recharger la batterie.

Ainsi, nous avons conçu un système capable de convertir l'énergie de la marche de passants en une énergie électrique utilisable pour l'éclairage urbain. Ce système pourrait être utilisé par une Mairie afin de réduire son utilisation d'énergie fossile et nucléaire, du moins en ce qui concerne l'éclairage public.



# **SOURCES**

## **Bibliographie**

- Guide du dessinateur industriel, A. CHEVALIER, Hachette

## **Sitographie**

- Wikipédia
- [webtab.ac-bordeau.fr](http://webtab.ac-bordeau.fr)
- [www.energie-environnement.ch](http://www.energie-environnement.ch)
- [stephane.genouel.free.fr](http://stephane.genouel.free.fr)
- [www.kartable.fr](http://www.kartable.fr)
- [www.ressort.fr](http://www.ressort.fr)
- [unblogsurlaterre.com](http://unblogsurlaterre.com)
- [eduscol.education.fr](http://eduscol.education.fr)
- [www.un.org](http://www.un.org)