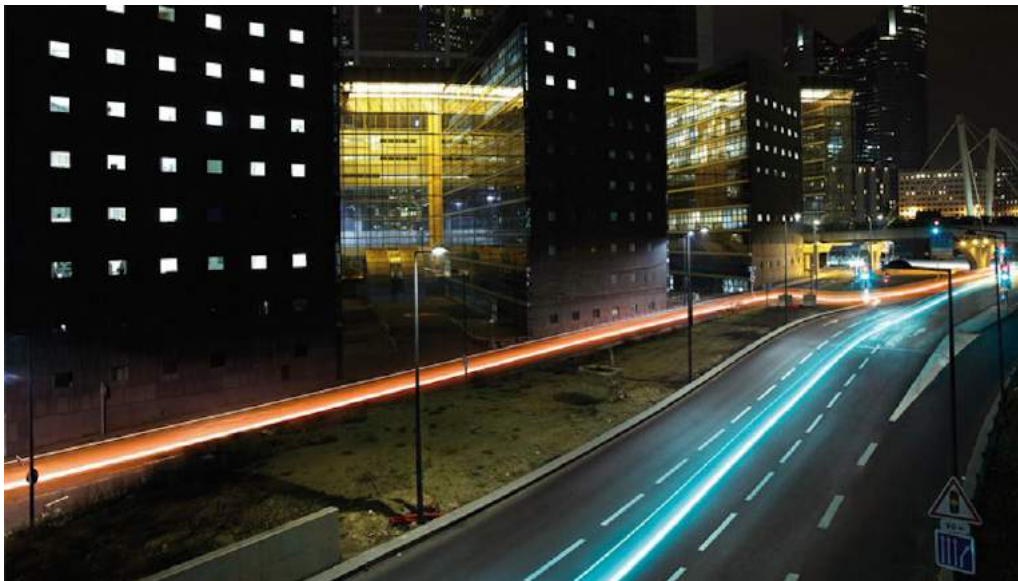


# Faraday on the road

*Recharger la voiture du futur sans effort*

Par Cécile Gry, Louis Mathis et Joachim Weil,  
avec l'aide de Franck Lohner

Lycée Jean Sturm, Strasbourg





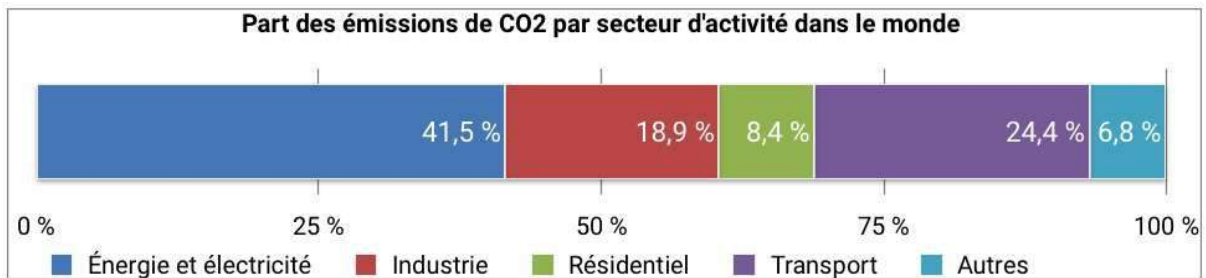
Dans ce projet il s'agira de mettre en évidence l'effet Faraday. Le principe est donc de réussir à créer du courant à l'aide du phénomène d'induction électrique. Nous ferons, pour cela, varier différents facteurs pour pouvoir tester cet effet. Le but final sera de se demander si grâce à ce phénomène pouvons-nous, ou non, recharger une voiture électrique pendant que celle-ci roule.



# Introduction

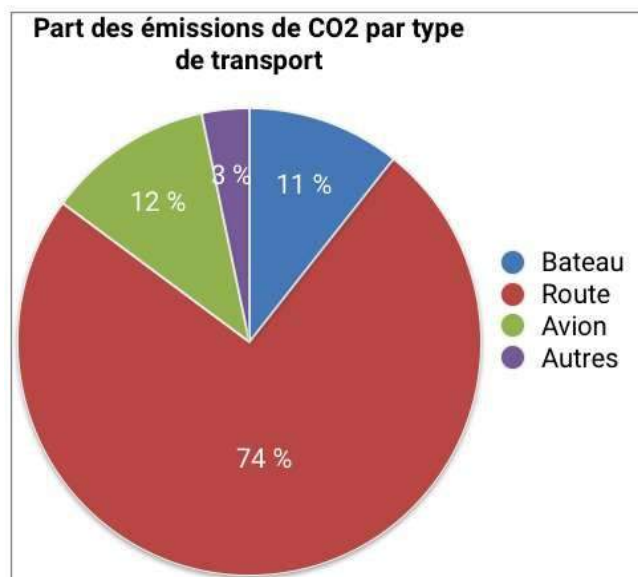
## Les voitures électriques

Le problème de l'émission des gaz à effet de serre est un problème majeur du réchauffement climatique. Or, on remarque que près d'un quart des émissions se font par les transports.



**Les transports représentent un quart des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>. Céline Deluzarche, d'après chiffres AIE pour l'année 2016.**

De plus, au sein même des transports, ce sont les véhicules routiers qui sont à l'origine de la plus importante émission; environ 75%.



Autant dire que le domaine routier représente une part extrêmement importante (18%) dans l'émission de CO<sub>2</sub> au niveau mondiale. N'avons nous pas déjà résolu le problème des transports routiers trop polluant ? Les véhicules électriques sont une très bonne alternative. Le problème du temps de leur recharge et de leur autonomie est celui qui freine aujourd'hui les acheteurs.

Une start-up israélienne s'est donc penchée sur la question. Une route pouvant recharger les véhicules électriques a été construite.

## **L'idée de notre projet**

C'est en TP de physique, il y a deux semaines et demi, que nous est venue l'idée de ce projet.

Ayant observé qu'un aimant passant devant une bobine produit du courant, nous nous sommes alors demandé quel serait son utilité au quotidien.

Avec la présence de plus en plus importante des voitures électriques malgré une autonomie assez faible et un temps de recharge élevé, on s'est alors posé sur le problème et avons abouti à la réflexion suivante : "Ne serait-il pas plus intéressant de placer directement les bornes de recharge dans la route ?". Pour répondre, nous avons décidé d'étudier expérimentalement l'effet Faraday.

## ***Comment recharger une batterie sans connecteur (ou connexion) physique avec celle-ci serait-il possible ?***

# I/ Le phénomène d'induction électromagnétique

L'induction électromagnétique est le processus par lequel un courant est induit, autrement dit "généré" ou "créé", par un champ magnétique variable.

La force magnétique est une composante de la force électromagnétique, une des quatre forces fondamentales de la nature. Cette force intervient lors de l'interaction de charges en mouvement. Deux objets chargés se déplaçant dans une même direction vont être attirés l'un vers l'autre par une force magnétique attractive. De même, des objets chargés qui se déplacent dans une direction opposée vont voir apparaître entre eux une force répulsive.

Le flux magnétique (noté  $\varphi$ ) est une mesure du champ magnétique total qui passe à travers une surface donnée. C'est un outil dont on se sert pour représenter les effets de la force magnétique sur un objet occupant cette surface. La valeur du flux magnétique dépend de la surface choisie. On peut la choisir de n'importe quelle dimension et l'orienter indifféremment par rapport au champ magnétique.

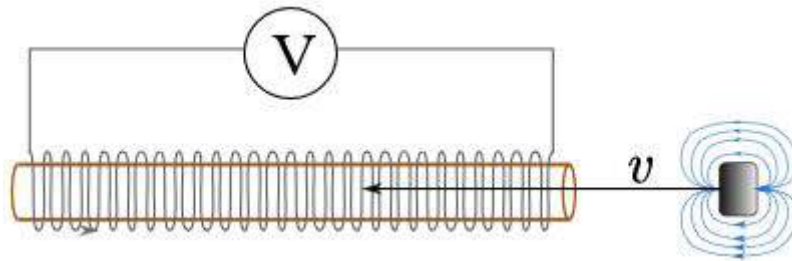
L'induction électromagnétique est décrite par deux lois :

La Loi de Faraday, du nom du physicien du XIX Michael Faraday. Elle relie la variation du flux magnétique traversant un circuit à la valeur de la force électromotrice  $\varepsilon$  induite dans ce circuit selon la formule suivante :  $\varepsilon = \frac{-d\varphi}{dt}$

La loi de Lenz est une conséquence du principe de conservation de l'énergie appliqué à l'induction électromagnétique. Tandis que la loi de Faraday donne l'amplitude de la force électromotrice (FEM) produite, la loi de Lenz renseigne sur le sens que va prendre le courant. Selon cette loi, le sens du courant est toujours tel qu'il va s'opposer à la variation du flux qui lui a donné naissance.

En pratique, l'induction magnétique est souvent causée par plusieurs bobines, chacune d'elles produisant la même FEM. Pour cette raison, un terme  $N$  représentant le nombre de bobines est ajouté, comme ceci :  $\varepsilon = N \times \frac{-d\varphi}{dt}$

L'expérience clé qui permet à Michael Faraday d'établir sa loi est très simple. Faraday a enroulé un fil de fer isolé autour d'un tube de carton pour former ainsi une bobine. Il a branché un voltmètre aux extrémités de la bobine et a mesuré la FEM induite lorsqu'il déplaçait un aimant dans la bobine.



Ses différentes observations :

- Aimant immobile dans ou hors de la bobine → Aucune tension mesurée.
- Aimant se déplaçant en direction de la bobine → Une tension est mesurée, elle diminue progressivement jusqu'à un minimum un peu avant le centre de la bobine.
- L'aimant passe le centre de la bobine → La tension mesurée change abruptement de signe.
- L'aimant ressort de la bobine → La tension mesurée augmente jusqu'à un maximum contrairement à l'arrivée vers la bobine.

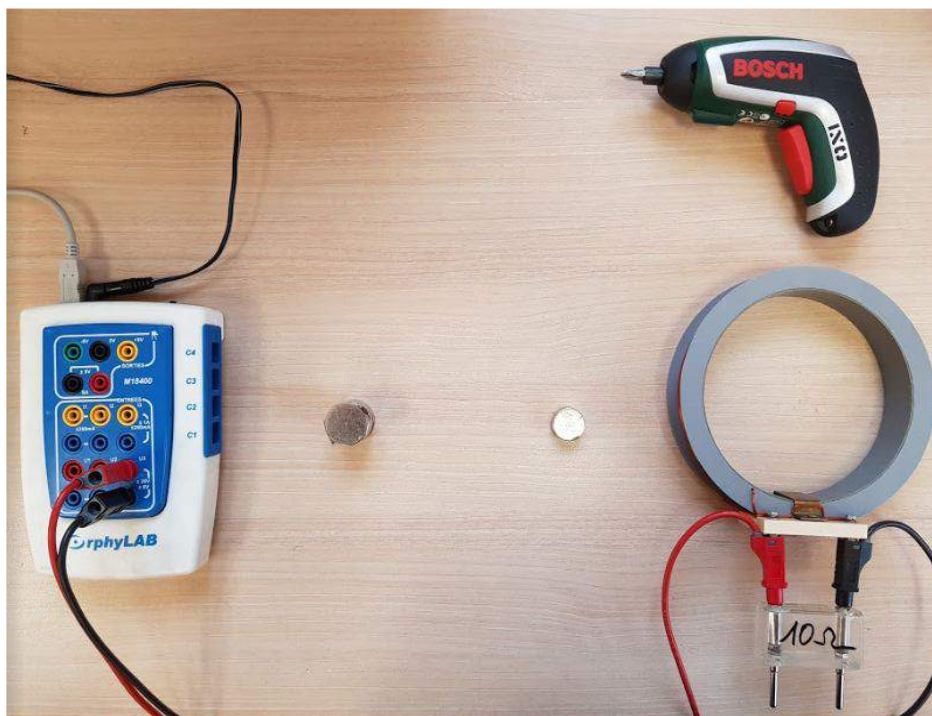
Ces observations sont conformes à la loi de Faraday. Bien que l'aimant immobile puisse produire un fort champ magnétique, il n'y a pas de FEM induite car le flux à travers la bobine ne varie pas. Quand l'aimant se rapproche de la bobine le flux augmente rapidement jusqu'à ce que l'aimant soit entièrement à l'intérieur de la bobine. Lorsque l'aimant commence à sortir de la bobine, le flux magnétique à travers la bobine commence à décroître et la FEM induite s'inverse.

L'induction électromagnétique est un phénomène physique d'importance majeure, à l'origine de multiples applications industrielles. Il est notamment utilisé dans les générateurs et les transformateurs électriques, les bobines, ou encore les plaques à induction.

## II/ Les expériences sur l'effet Faraday

Pour commencer nos observations nous avons besoin d'une (ou plusieurs) bobines, d'un aimant et de plusieurs logiciels pour faciliter l'exploitation des données et limiter nos incertitudes et erreurs expérimentales

Pour les expériences, on prendra comme conducteur électrique une bobine. Tandis que pour le créateur de champ magnétique, on prendra des aimants.



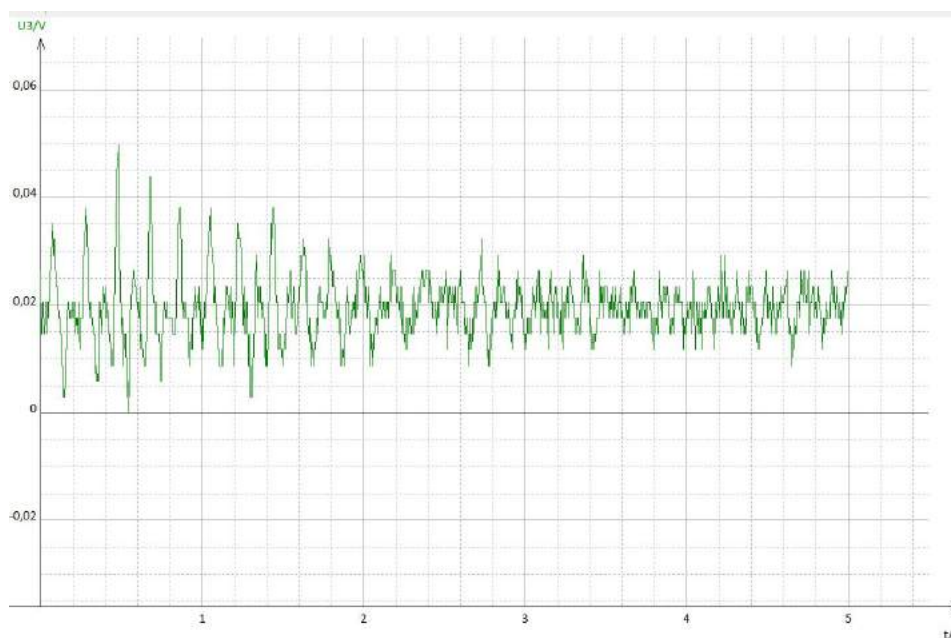
Il s'agira alors de faire varier plusieurs facteurs, un à un, afin de trouver la configuration idéale pour une production de courant optimale. Les différents facteurs que l'on fera varier sont :

- la vitesse de l'aimant au voisinage de la bobine
- les données de la bobine (nombre de spires, diamètre, épaisseur du fil de cuivre,...)
- la distance entre la bobine et l'aimant
- la puissance de l'aimant

## Liste du matériel

- Un aimant simple,
- un lot de 6 aimants empilés,
- une résistance,
- 2 bobines (la plus grosse des deux sera nommée "bobine 1" et la plus petite "bobine 2"),
- un boîtier orphylab,
- un logiciel d'acquisition (orphylab),
- un logiciel de traitement (regressi),
- des fils électriques.
- perceuse, moteur, planche de bois, générateur

## L'observation générale



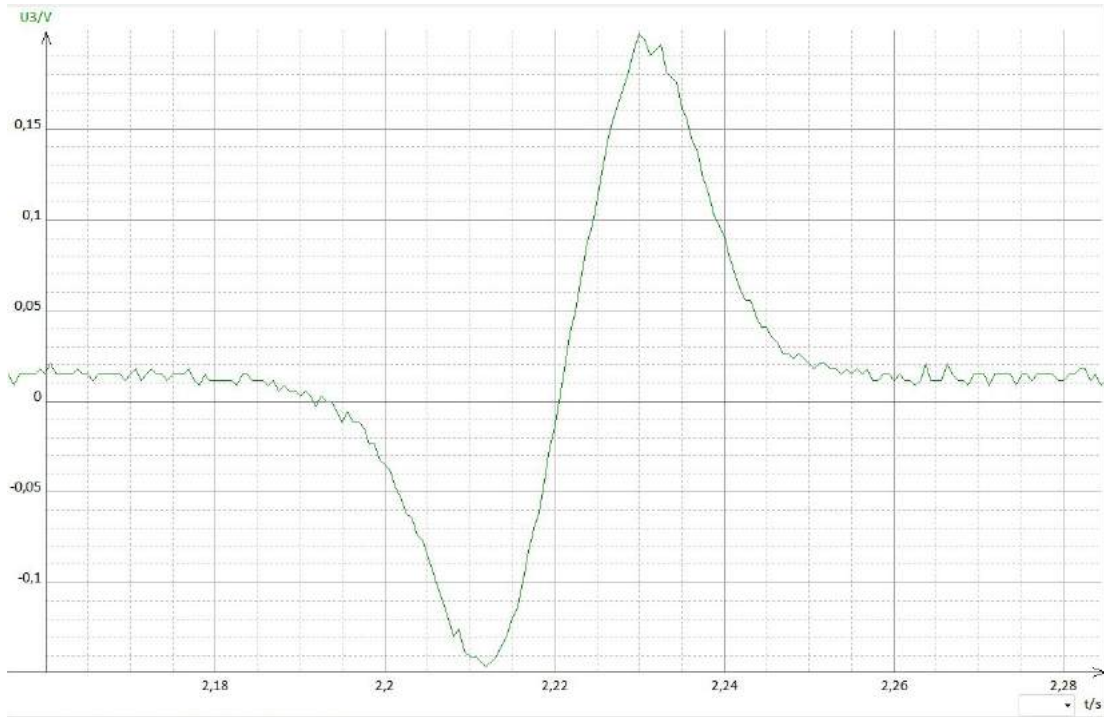
Graph 0

Pour débiter nos expériences, on met en place notre montage et on fait passer un aimant devant une bobine sans prendre en compte le nombre d'aller retours ou la vitesse de passage. On observe, après avoir tracé le Graphique 0 de nos résultats, une variation de tension, conformément à l'expérience de Faraday; il y a création de courant électrique.

On remarque qu'il y a des pics négatifs et positifs; la bobine induit un courant alternatif. Ces pics alternent en commençant toujours par le pic négatif. On s'est donc demandé pourquoi observe-t-on ces variations là ?



## Analyse générale de la courbe obtenue



Graphe 1

Pour mieux comprendre ces variations on décide de se pencher sur une seule variation en zoomant sur une partie de la courbe. Lors d'une seule variation (cf. Graphique 1), il y a trois phases :

- La partie négative de la courbe correspond à l'arrivée de l'aimant. Le flux augmente donc la dérivée est positive et la FEM est négative.
- Le passage par 0 correspond à l'aimant qui est entièrement au milieu de la bobine. Le flux est à son maximum donc la FEM est nulle.
- La partie positive de la courbe correspond à la sortie de l'aimant. Le flux diminue, la dérivée est négative, la FEM est donc positive.

## Les différentes aimantations

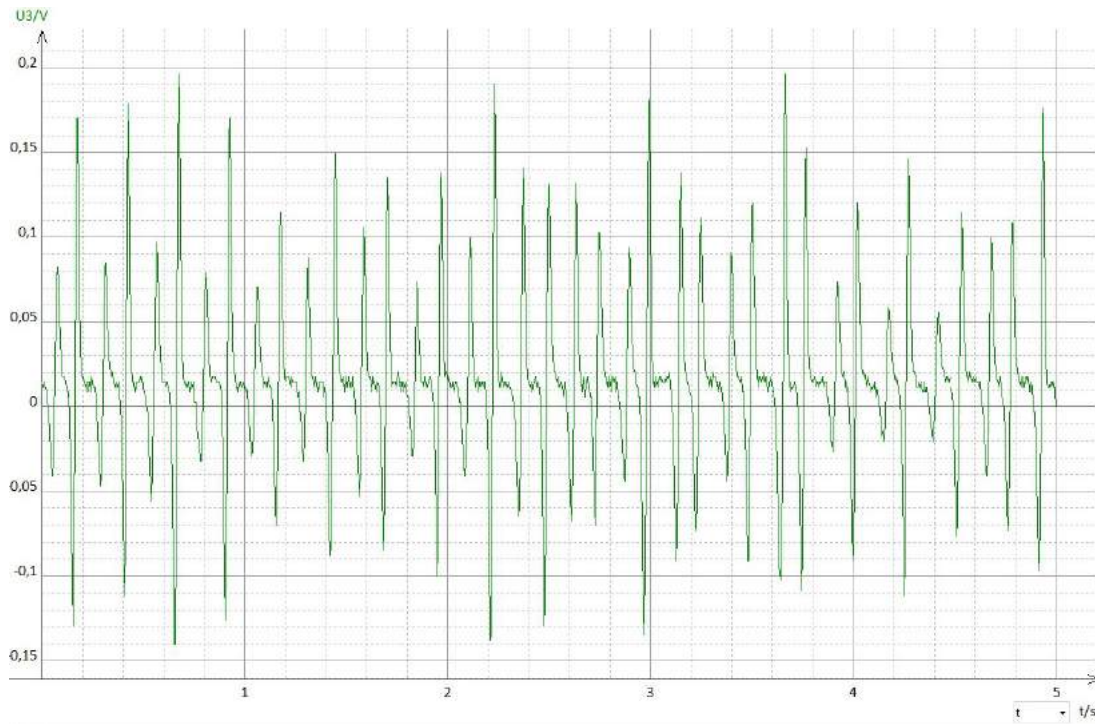
On teste deux "forces" d'aimant différentes. Dans un cas, on utilise l'aimant simple (à l'origine du Graphe 3) et dans l'autre, le lot de 6 aimants empilés (à l'origine du Graphe 2). Ici, la vitesse, la bobine et la hauteur à la bobine sont fixées pour les deux expériences. Le lot de 6 aimants, générant, dans les mêmes

conditions expérimentales un champ magnétique plus élevé que celui de l'aimant simple; il en résultera une plus forte tension aux bornes de la bobine.

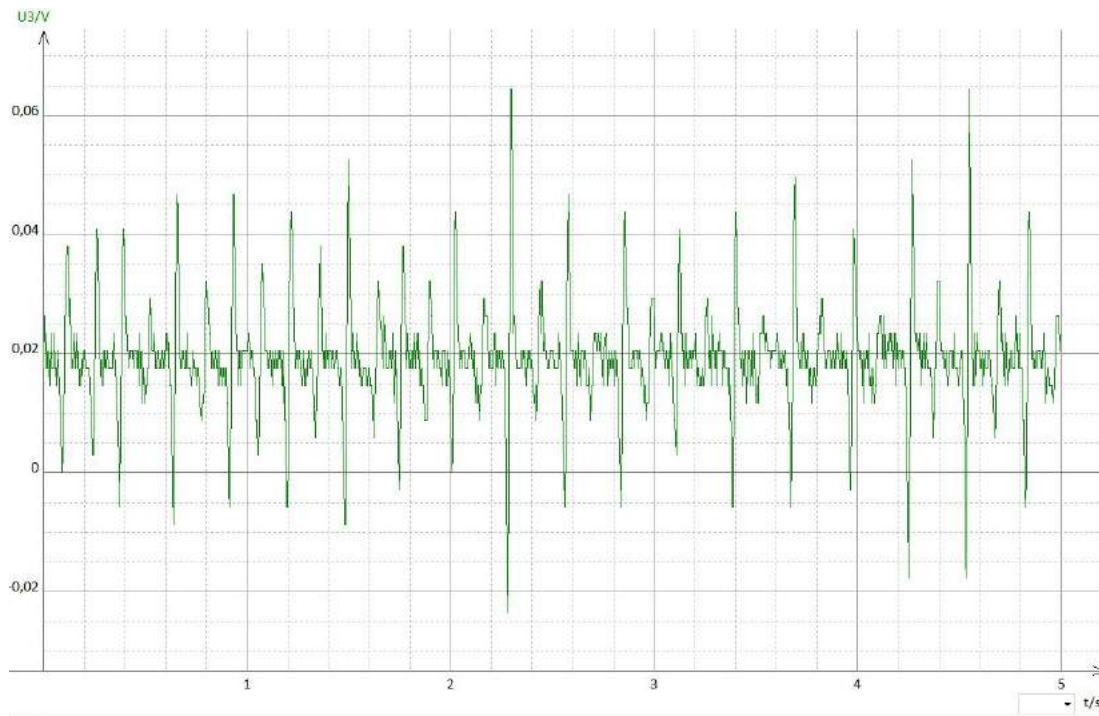
Pour les 6 aimants, la moyenne des pics de tension générée est égale à 0,15 volts (cf. Graphe 2).

Pour un aimant, la moyenne des pics de tension générée est égale à 0.04 volts (cf. Graphe 3).

Conclusion : Plus la valeur du champ magnétique est élevée, plus une tension forte sera induite par la bobine.



Graphe 2



Graphe 3

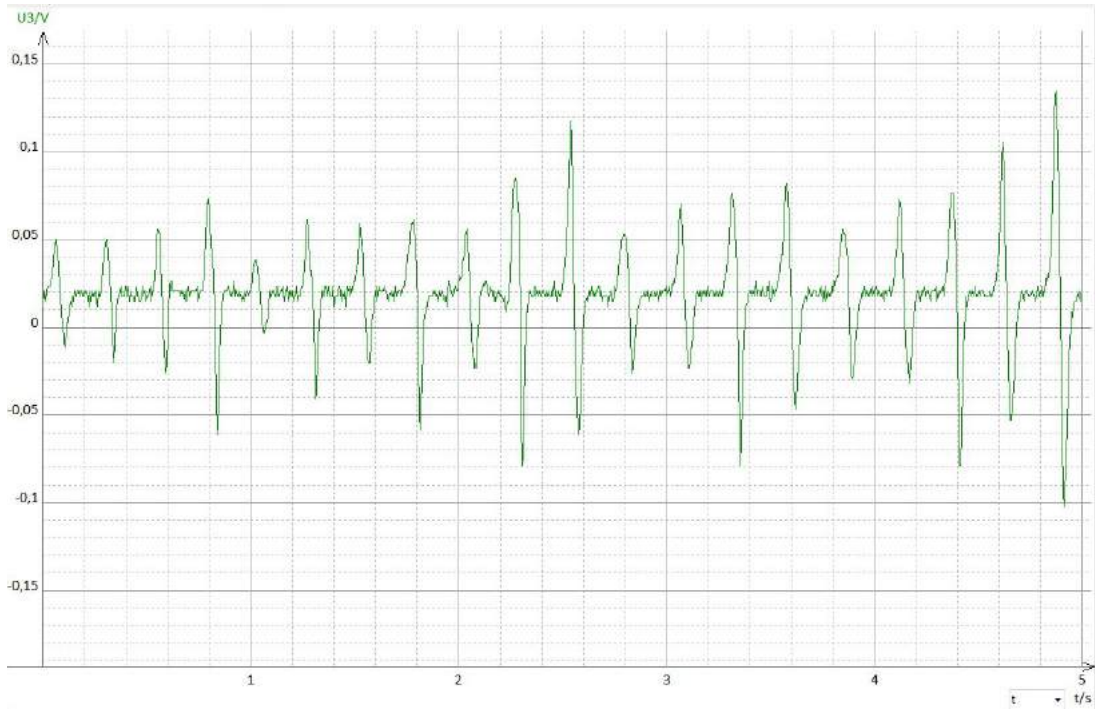
### **Les différentes hauteurs de l'aimant**

On décide maintenant de tester deux hauteurs d'aimants à la bobine différentes. Dans un cas, on prend une hauteur de 5 centimètres (à l'origine du Graphe 4) et dans l'autre, une hauteur de 10 centimètres (à l'origine du Graphe 5). Ici, la vitesse, la bobine et la valeur du champ magnétique sont fixées pour les deux expériences. Le champ magnétique étant plus fort plus on est proche de son centre d'émission, la hauteur de 5 cm est donc à l'origine d'une plus forte tension au bornes de la bobine.

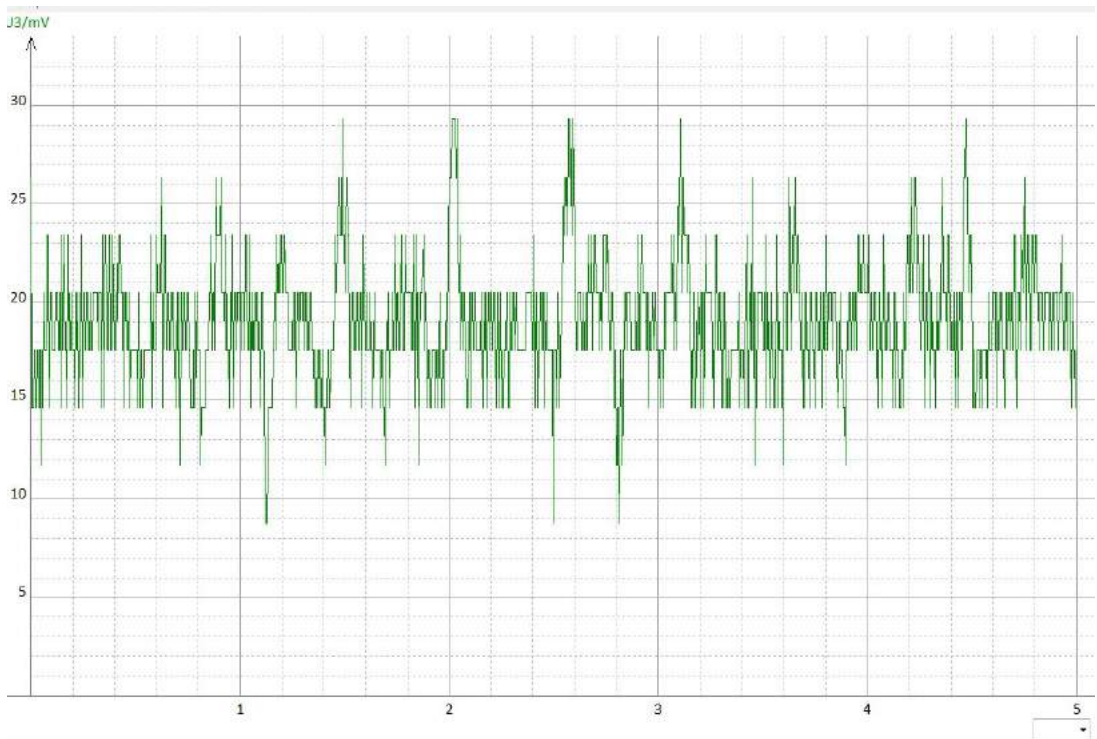
Pour la hauteur de 5 cm (cf. Graphe 4), la moyenne des pics de tension générée est égale à 0,07 volts.

Pour la hauteur de 10 cm (cf. Graphe 5), la moyenne des pics de tension générée est égale à 0.02 volts qui est en réalité l'erreur systématique du boîtier orphylab (aucune tension due au passage de l'aimant n'est donc détectée).

Conclusion : Plus la distance séparant aimant et bobine est faible, plus une tension forte sera induite par la bobine.



Graphe 4



Graphe 5

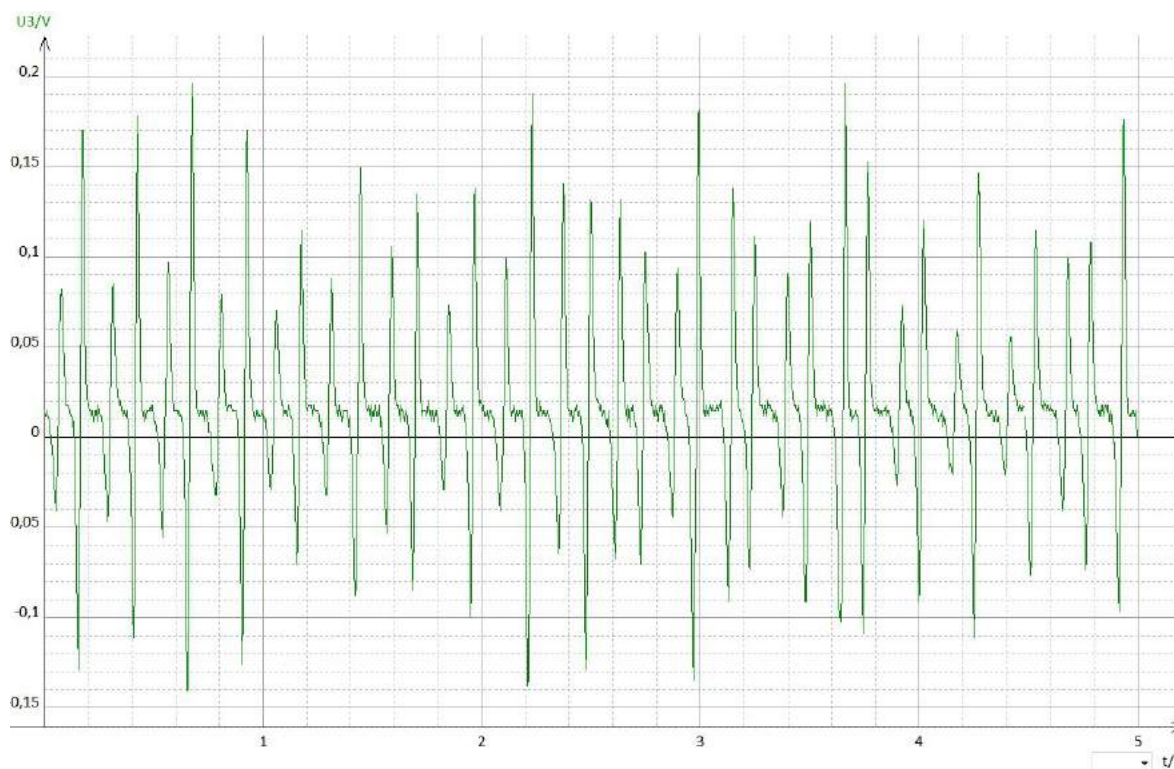
## Les différentes bobines

On teste deux “valeurs” de bobine différentes. Dans un cas on utilise une grande bobine (à l’origine du Graphe 6) et dans l’autre une plus petite (à l’origine du Graphe 7). Ici, la vitesse, la valeur du champ magnétique et la hauteur à la bobine sont fixées pour les deux expériences. On remarque que la grande bobine est à l’origine d’une plus grande tension que la petite. Ceci s’explique par l’équation de la FEM, car le flux est fonction du champ magnétique mais également de la surface (de la bobine).

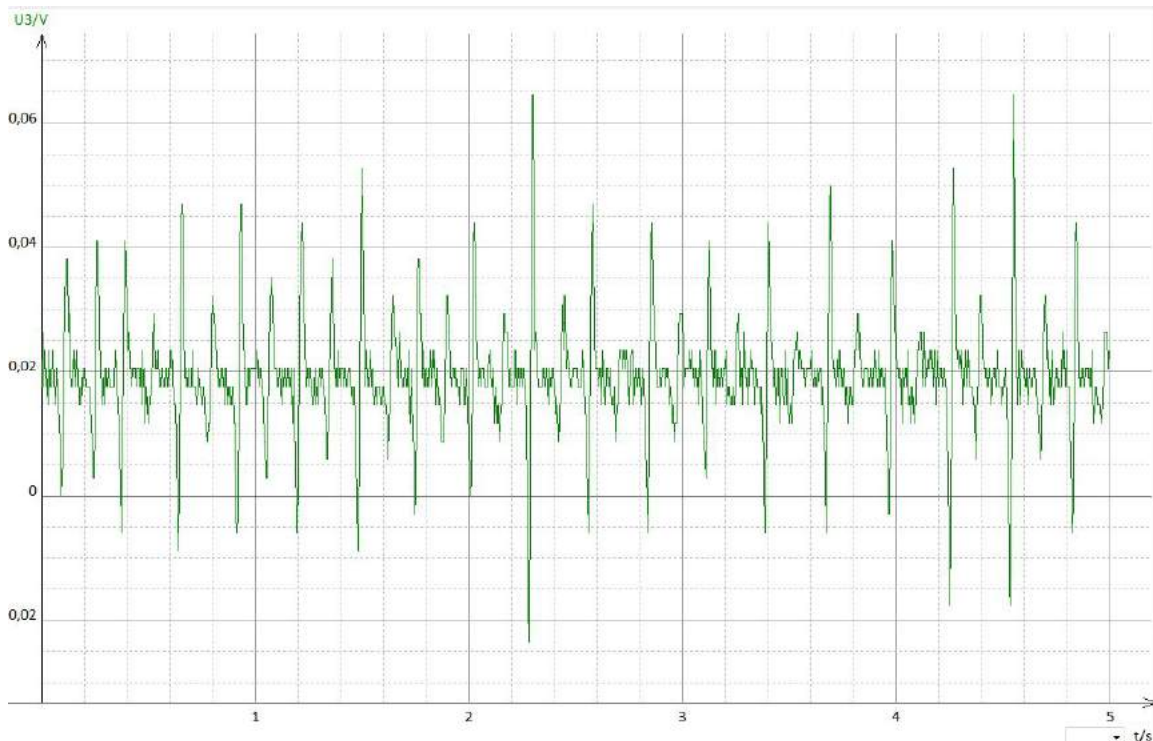
Pour la grande bobine (cf. Graphe 6), la moyenne des pics de tension générée est égale à 0,1 volts.

Pour la petite bobine (cf. Graphe 7), la moyenne des pics de tension générée est égale à 0.04.

Conclusion : Plus la bobine est grande, plus une tension forte sera induite par cette même bobine.



Graphe 6

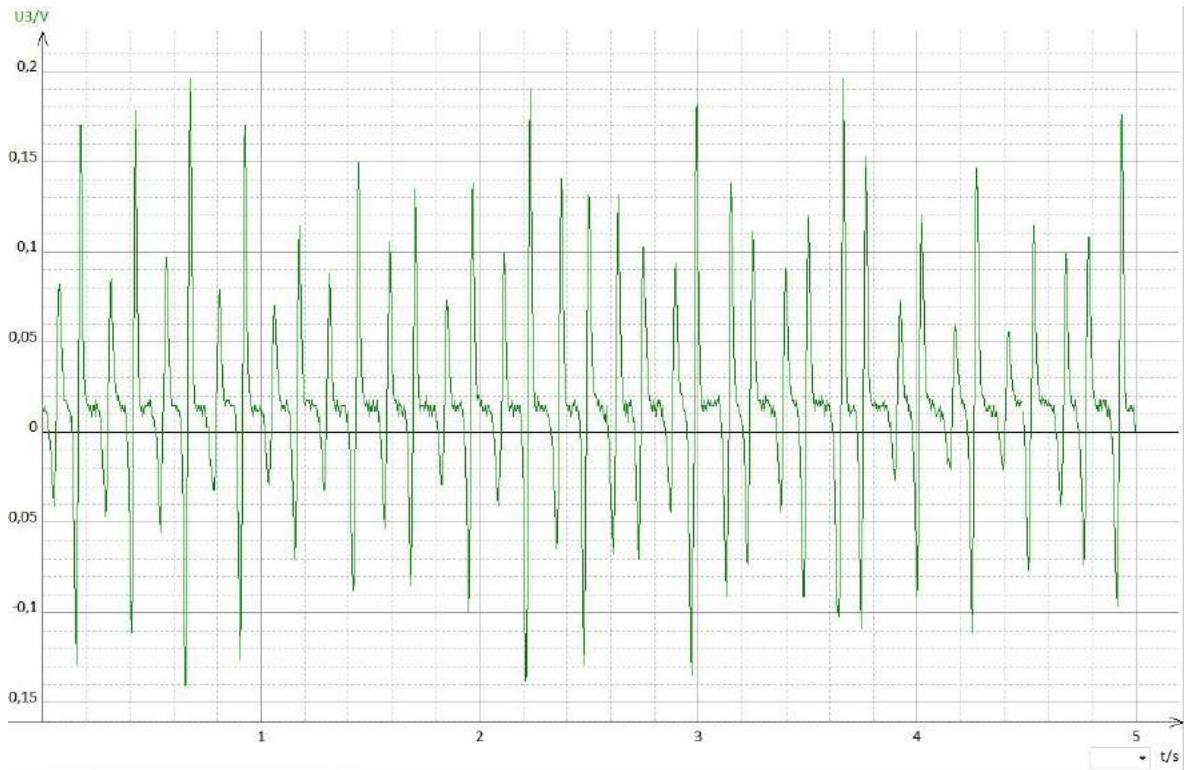


Graphe 7

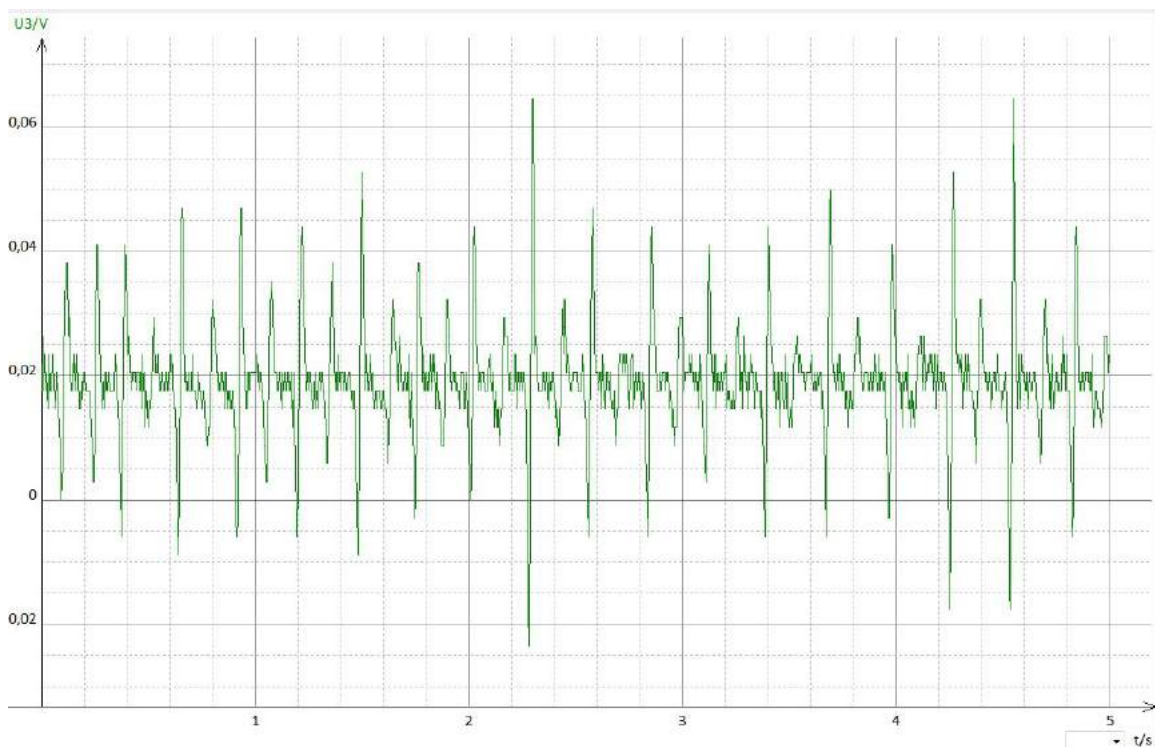
### Les différentes vitesses

On teste deux vitesses d'aimants différentes. Dans un cas on prendra une vitesse assez importante (à l'origine du Graphe 8) et dans l'autre une assez faible (à l'origine du Graphe 9). Ici, la taille de la bobine, la valeur du champ magnétique et la hauteur à la bobine sont fixées pour les deux expériences. On remarque que l'expérience avec la plus importante vitesse est à l'origine de la plus forte tension. Le Graphique 8 nous montre une tension moyenne de 0,1 volts contrairement au Graphique 9 qui nous montre une tension moyenne de 0.04 volts.

On peut donc dire que plus la vitesse est élevée, plus une tension forte sera induite par cette même bobine.



Graphe 8



Graphe 9

Pour toutes ces expériences, précisons que la vitesse n'était pas tout à fait constante puisque les mesures ont été réalisées à la main ( par manque de temps et de matériels lors de la réalisation) .

Néanmoins, par la suite on utilisera deux dispositifs pour fixer ou comparer la (les) vitesse(s) : d'une part une perceuse comme stipulé dans la liste du matériel ; d'autre part, une alimentation relié à une installation pouvant faire varier la vitesse :



Grâce à cela et au logiciel Tracker on pourra alors obtenir précisément des valeurs de manière à approfondir nos résultats.

## **Conclusion générale des expériences**

À travers les différentes expériences précédentes, on remarque que pour que la tension soit maximale, aux bornes de la bobine, il faut maximiser la taille de la bobine, la force du champ magnétique, la vitesse de l'aimant et minimiser la distance entre aimant et bobine.

Toutes ces observations sont évidemment retrouvables grâce la formule donnant la FEM.



### III/ l'application aux voitures électriques

Dans le domaine des véhicules électriques, le principal inconvénient que rencontrent les industriels concerne leur autonomie, mais également le temps de recharge des batteries. Pour l'instant, les utilisateurs peuvent soit faire le plein d'électricité chez eux en se branchant directement sur une prise ordinaire, soit en se branchant sur une borne « wallbox ». Dans les deux cas, il est nécessaire de recourir à un branchement par câble, comme pour n'importe quel appareil électrique. Mais comme avec votre smartphone ou votre brosse à dents électrique, il est désormais possible de recourir à la recharge par induction. Celle-ci fonctionne grâce à un champ électromagnétique, qui circule entre les pôles émetteur (la borne) et récepteur (la batterie).

L'avantage immédiat de cette technique est la suppression des câbles, remplacés par une borne placée sur le sol, dans un garage ou sur une place de stationnement, par exemple, et au-dessus de laquelle le véhicule vient se positionner. Petit plus : la connexion se fait automatiquement et permet un gain de temps non-négligeable, tout du moins si les deux éléments sont bien positionnés. Pour autant, vu comme cela, et étant donné les risques de déperdition thermique, la recharge par induction ressemblerait plus à un gadget qu'à un réel progrès. C'est parce qu'il faut voir plus loin qu'une simple utilisation individuelle...

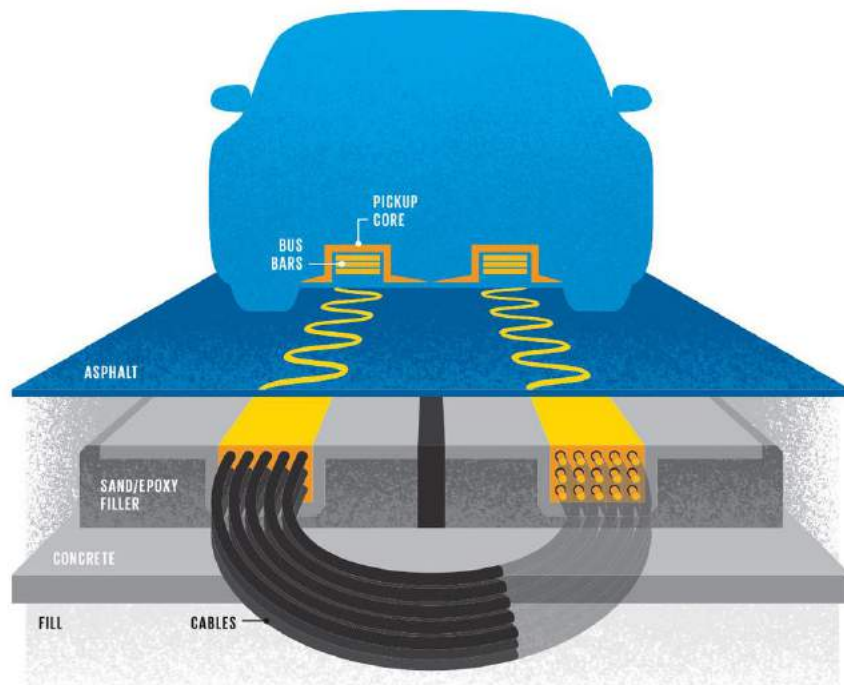
En effet, l'avenir de ce nouveau type de recharge passera par les routes à induction. C'est-à-dire des voies de communication dont le revêtement aura intégré, au sens propre du terme, cette technologie. Comme les véhicules ne quitteront jamais véritablement leur borne de recharge, il s'agit ici plutôt d'une bande ou d'un rail de recharge en continu, tout au long du trajet, ceux-ci se chargeront donc... en roulant !

Ce projet paraît fou mais pourtant l'entreprise américaine Qualcomm teste ce type de route depuis 2018, en partenariat avec Renault, très impliqué dans le développement des voitures électriques. La puissance délivrée est de 20 kW, ce qui permet à deux véhicules de circuler simultanément, à une vitesse maximale de 100 km/h. Si le temps où tout le réseau routier sera ainsi équipé semble encore loin, il s'agit tout de même de résultats très concrets.

Tout récemment, une équipe américaine du Oak Ridge national laboratory a réussi à faire encore mieux, en faisant fonctionner un dispositif de recharge par induction d'une puissance de 120 kW, tout en limitant la déperdition thermique à 3%. Pour obtenir ce résultat, un nouveau type de bobines électromagnétiques en carbure de silicium a été mis au point. Grâce à cette innovation, l'Oak Ridge national

laboratory prévoit même de pouvoir atteindre des puissances jusqu'à 400 kW, ce qui permettrait de recharger les véhicules en un temps record de 15 minutes.

Malheureusement tout cela reste théorique et notre et l'objectif et maintenant de trouver, par nous même, un moyen d'arriver à un résultat concret .



**Schéma/exemple d'un prototype de route à induction**

## **Les expériences**

On tente maintenant de réfléchir aux applications concrètes sur nos routes a induction. Il s'agira dans ces expériences de voir si l'on peut recharger une batterie car le courant formé est alternatif et il faudrait le transformer en courant continu afin de charger optimalement.

## **Le passage d'un courant alternatif à un courant continu**

- Nous allons tenter d'utiliser un pont de diode afin de faire passer les pics négatifs en pics positifs.
- Puis, comme un courant faisant des brusques sauts de tensions pour redescendre à 0 n'est pas très utile pour charger, nous allons tenter de trouver un moyen de rendre cette tension la plus constante possible.
- Après cela, on pourra s'intéresser à la recharge d'un dispositif pour enfin voir à plus grande échelle, donc aux voitures électriques, si l'on peut utiliser ce phénomène d'induction pour améliorer notre quotidien.