

# L'ELECTRICITE SANS FIL

Comment peut-on transmettre du courant  
d'un point A à un point B sans utiliser de  
fil entre les deux ?

Pauline BEGUIN  
Marianne MARANT

Travaux supervisés par :  
Mr PAPA

## SOMMAIRE :

### Introduction :

#### A) Quelques notions d'électricité

- 1) Comment se crée-t-elle ?
- 2) Quels sont les différents types de courant ?
- 3) Comment s'y prendre pour transporter le courant plus facilement ?
- 4) Pourquoi utiliser des fils électriques ?

#### B) Se débarrasser des fils électriques

- 1) Quels sont leurs inconvénients pour nous ?
- 2) Que provoquent-ils au niveau de l'économie et l'écologie mondiale ?

Comment peut-on transmettre du courant d'un point A à un point B sans utiliser de fil entre les deux ?

### I. Le principe du TRANSFORMATEUR

#### A. Quelques notions

1. La composition d'un transformateur
2. Le fonctionnement d'un transformateur
3. Le rendement moyen
4. Les pertes
5. Augmenter ou abaisser une tension

#### B. Recréer un circuit inspiré d'un transformateur

1. Protocole
2. Expériences
3. Petit problème : la Bobine Mystère
4. Critique des expériences

#### C. Pour aller plus loin

### II. L'entreprise WITRICITY

#### A. Les recherches menées par l'entreprise

1. Un BIP la nuit
2. La dangerosité des champs magnétiques
3. Une solution pour préserver la santé des futurs utilisateurs
4. Une expérience révolutionnaire

#### B. L'avenir pour l'électricité d'après WiTricity

1. Pour le grand public
2. Pour l'automobile
3. Pour l'industrie
4. Pour l'armée
5. Pour la médecine

### III. Les ULTRASONS

#### A. Définition du son

#### B. Les ultrasons

1. Point historique
2. Définition des ultrasons
3. Expériences
4. Critique de l'expérience

### IV. Principe et fonctionnement de la TOUR TESLA

#### A. Point historique

#### B. Fonctionnement de la Tour Tesla

### Conclusion

# L'ELECTRICITE SANS FIL

## A) Quelques notions d'électricité

### 1) Comment se crée-t-elle ?

Comme nous le savons, la matière est constituée d'atomes.

Ces atomes possèdent chacun un noyau central constitué de protons, chargés positivement, et de neutrons, sans aucune charge. Autour de ce noyau, tournent des électrons, chargés négativement.

En principe, dans un atome, on trouve autant de protons que d'électrons, l'atome est donc électriquement neutre. Seulement, si, par frottement par exemple, un électron vient à s'ajouter à cet atome, celui-ci devient négatif, et si il perd un électron, devient positif.

C'est ce déplacement, ce transfert d'électrons qui est à l'origine de l'électricité.

### 2) Quels sont les différents types de courant ?

Dans les fils, les électrons se déplacent du pôle négatif au pôle positif.

S'ils se déplacent uniquement dans ce sens, notamment grâce à une *réaction chimique* comme c'est le cas dans une batterie ou dans une pile, le courant est dit continu.

Mais le courant peut également circuler une fois dans un sens, puis une fois dans l'autre à intervalles de temps réguliers appelés cycles. Dans ce cas, cette alternance de sens de circulation fait de ce courant un courant alternatif.

Ce type de courant est préféré à celui continu car il est plus simple, *plus économique à transporter sur les lignes électriques jusqu'aux différents lieux de consommation*, mais également car sa tension est facilement ajustable grâce à un transformateur.

### 3) Comment s'y prendre pour transporter le courant plus facilement ?

Pour faciliter les déplacements des électrons, et donc du courant, on utilise des matériaux dits "conducteurs" (métaux, gaz, certains liquides...) car ils possèdent des électrons libres : ce sont des électrons faiblement liés à leur noyau atomique et qui facilite donc le passage du courant.

Les composants qui ne possèdent pas d'électrons libres sont dits "isolants" et ne peuvent donc pas conduire de courant électrique. C'est le cas, par exemple, du plastique, du caoutchouc, du verre, du bois ou de l'air.

### 4) Pourquoi utiliser des fils électriques ?

Le but des fils électriques est de transporter cette électricité afin de transmettre de l'énergie ou de l'information. Pour les transporter, le fil se compose d'un matériau conducteur en brin de métal (cuivre, aluminium, acier, argent ou voire or) souvent entouré d'une enveloppe isolante. Ceci permet de faciliter le courant électrique et d'éviter les pertes grâce à l'enveloppe isolante qui ne conduit pas

le courant. Ce dernier est donc emprisonné dans le fil et n'a d'autres choix que de circuler à l'intérieur.

Notre objectif est donc de faire en sorte que le courant électrique puisse se transmettre entre deux points sans utiliser de conducteurs entre les deux, et bien sûr, sans que l'air ne devienne conducteur non plus.

## B) Se débarrasser des fils électriques

Quand on parle d'électricité, on pense tout de suite à son fil. Or depuis plusieurs années, les ordinateurs, les téléphones et Internet deviennent sans fil. Mais qui dit sans fil, dit batterie, et qui dit batterie, dit chargeur. Et un chargeur est composé de fils.

### 1) Quels sont leurs inconvénients pour nous ?

Les fils occasionnent quelques petits "soucis" : tout d'abord, un soucis d'esthétique, puis une gêne des rayonnements électromagnétiques qui devient insupportable chez certaines personnes et enfin le soucis constant de garder son appareil chargé, et quand ce n'est plus le cas, de le recharger, donc d'avoir son chargeur à portée de main ainsi qu'une prise. Ce qui n'est pas toujours possible.

On se retrouve donc privé pendant un temps plus ou moins long de services qui peuvent s'avérer très utiles. Par exemple, imaginons que notre portable est déchargé et que nous devons passer un appel important que ce soit pour le travail ou un coup de fil personnel, la batterie étant déchargée, nous sommes dans l'incapacité d'effectuer cet appel. Autre exemple, nous sommes en plein travail sur notre ordinateur portable, trop absorbé par cette occupation, nous oublions de garder un niveau de batterie suffisant pour la poursuivre, et l'appareil s'éteint. Si nous avons eu le malheur de ne pas enregistrer notre travail avant qu'il ne s'éteigne, toute l'avancée est perdue.

### 2) Que provoquent-ils au niveau de l'économie et de l'écologie mondiale ?

En plus des gênes citées précédemment, nous pouvons mettre l'accent sur le coût de tous ces fils et de la recharge de batterie, d'après Eric Giler, président de WiTricity, dans l'émission TED en 2009 sur l'électricité sans fil, « dans la rue, il y a des milliards et des milliards de dollars qui ont été investis en infrastructure dans le monde entier à tirer des câbles, pour amener l'énergie du producteur au consommateur » et « si on regarde le coût de l'énergie, le prix du kilowattheure pour recharger une batterie est de deux ou trois cents livres sterling ».

Nous pouvons aussi souligner l'impact écologique de toutes ces batteries dans le monde entier car, comme le souligne Eric Giler, « il y a 40 milliards de batteries jetables produites tous les ans » qui vont ensuite mettre plus d'une centaine d'années à se désagréger et dégager dans l'atmosphère des gaz à effet de serre, contribuant au réchauffement climatique.

## Comment peut-on transmettre du courant d'un point A à un point B sans utiliser de fils entre les deux ?

# I. Le principe du TRANSFORMATEUR

## A. Quelques notions

On utilise un transformateur chaque fois qu'il est nécessaire de transformer une tension alternative en une autre tension alternative, soit en l'abaissant, soit en l'augmentant, par l'effet d'un champ magnétique.

### 1. La composition d'un transformateur

Quelque soit le type, le transformateur est constitué de **deux enroulements ou plus** couplés sur **un noyau magnétique**. Lorsque le transformateur possède deux enroulements, il est dit "monophasé", à trois enroulement, on dit qu'il est "triphase".



Photo d'un transformateur monophasé

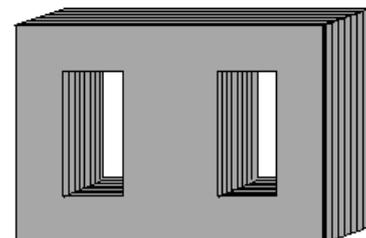


Photo d'un transformateur triphasé

Souvent ce sont **des bobines de fils de cuivre isolés par du vernis enroulées autour de tôles magnétiques de fer doux**. Cette matière désigne à la fois le fer et l'acier doux, et dont la principale caractéristique est de s'aimanter facilement et de se désaimanter rapidement quand elle n'est plus soumise à un champ magnétique. Nous verrons pourquoi cela est très important plus loin. Les tôles constituant le noyau sont dites feuilletées car ce sont de fines tôles identiques superposées les unes sur les autres, nous verrons également pourquoi il est intéressant d'utiliser un feuilletage plus tard. Ces feuilles de fer doux se présentent soit sous la forme d'un "E" soit sous la forme d'un "I". Le "E" permet t'introduire les bobines dans le noyau, et le "I" de le refermer.



*fr.wikipedia.org*



Tôles feuilletées d'un transformateur monophasé

La bobine où arrive le courant, le côté de la source, est appelée "**enroulement primaire**" tandis que celle qui produit une autre tension, le côté de la charge, est nommée "**secondaire**".

Les transformateurs possédant plusieurs enroulements secondaires fournissent alors plusieurs tension en sortie.

Il faut remarquer que tout couplage entre les deux enroulement est **magnétique**.

## 2. Le fonctionnement d'un transformateur

Un transformateur est basé sur un phénomène que l'on nomme **induction magnétique**. Ce phénomène se produit si une boucle conductrice est reliée à une source de courant alternatif.

Celui-ci génère alors un champ magnétique oscillant (ou "alternatif") dans le voisinage de la boucle. Une seconde boucle conductrice, suffisamment proche de la première, peut "capturer" une partie de ce champ magnétique oscillant, ce qui, à son tour, génère (ou induit) un courant électrique dans le second enroulement.

*www4.ac-nancy-metz.fr*



Représentation du champ magnétique au niveau de deux bobines alimentées par un courant alternatif

Cette relation entre champ magnétique et champ électrique s'appelle l'**électromagnétisme**.

Ainsi, dans un transformateur, si on applique une **tension alternative à la source**, l'enroulement primaire crée alors un **flux magnétique alternatif** dans le noyau magnétique (on peut aussi l'appeler "flux magnétique variable").

Cette variation de flux est **captée par l'enroulement secondaire, ce qui la transforme en courant** ou, si l'enroulement n'est pas raccordé à un récepteur, induit une tension.

*ecotransfo.com*

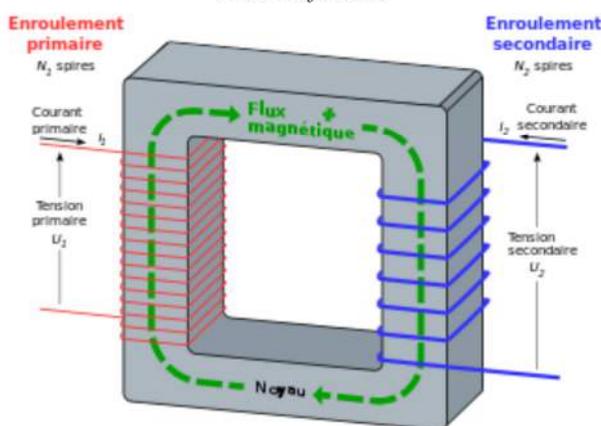


Schéma expliquant le fonctionnement d'un transformateur

C'est dans ce cas que l'on dit que le transformateur est "**à vide**", il ne produit alors aucun courant à sa sortie. Quand un récepteur est raccordé, par contre, on dit qu'il est "**en charge**". Le courant débité par l'enroulement secondaire crée alors un champ magnétique opposé au champ produit par le primaire.

Il s'ensuit une augmentation du courant dans le primaire et en fin de compte il y a une égalité quasi parfaite entre la puissance que génère le secondaire et la puissance consommée par l'enroulement primaire.

### 3. Le rendement moyen

Seulement, il y a quand même quelques pertes entre la puissance que consomme l'enroulement primaire et celle qui sort du secondaire due à **la résistance des fils**, c'est à dire sa capacité à ralentir le passage du courant, ainsi qu'à **la réluctance du noyau magnétique**, c'est à dire sa capacité à s'opposer sa pénétration par un champ magnétique. Mais, en théorie, on peut dire que :

$$P_1 = P_2$$

Avec  $P_1$  la puissance consommée par l'enroulement primaire (Watt),  $P_2$  la puissance qui sort de l'enroulement secondaire (Watt).

Mais les transformateurs ont tout de même un très bon rendement de l'ordre de 99%.

### 4. Les pertes

#### a. Le transformateur parfait

Dans le cas d'un transformateur parfait (= idéal), on imagine pouvoir contrer les deux causes de fuites : on considère que **la résistance des fils (au primaire et au secondaire) est nulle**, et que **le noyau magnétique est parfait** (sa réluctance est donc nulle, donc pas de fuite car le flux est complètement contenu dans le noyau magnétique).

Ainsi, le couplage magnétique entre les deux enroulements est parfait (le paramètre de couplage  $k$  défini dans le cas d'un transformateur normal est alors égal à 1).

Par conséquent, **le flux du primaire se rend dans son intégralité dans le secondaire** : il n'y a plus de fuites, plus de pertes au niveau du rendement du transformateur.

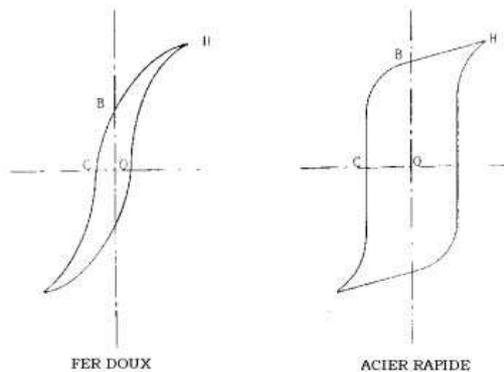
#### b. Les pertes du noyau : l'hystérésis magnétique, la perméabilité et les courants de Foucault

Avec un transformateur réel, par contre, nous devons tenir compte de plusieurs paramètres : Tout d'abord, **le noyau magnétique présente une non-linéarité** dans sa relation entre sa magnétisation et sa démagnétisation. En effet, la magnétisation d'un matériau par un courant électrique persiste quand le courant a disparu, les valeurs prises lors de l'aimantation diffèrent donc de celles prises lors de la désaimantation, la courbe de croissance (=aimantation) ne se superpose pas à la courbe de décroissance (=désaimantation), d'où la non-linéarité.

C'est ce que l'on appelle l'**hystérésis magnétique**.

On essaye cependant de contrer ces effets par l'utilisation du **fer doux** pour la composition du noyau.

*ressuage-magnetoscopie-penetranttesting-magnetic-testing-dpc.info*



Cycle d'hystérésis du fer doux et celui de l'acier rapide

(acier à dureté élevée conservant sa trempe à haute température employé notamment pour la découpe à grande vitesse)

De plus, le noyau magnétique possède une **perméabilité magnétique non-infinie**, c'est à dire que sa capacité à modifier un champ magnétique, donc modifier les lignes de flux magnétiques, est restreinte. Celle-ci dépend du matériau et du milieu dans lequel le champ magnétique est produit et peut être représenté par la relation :

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

Avec  $\mu$  la perméabilité magnétique du matériau,  $\mu_0$  la perméabilité du vide (en Henry par mètre) qui est une constante universelle, la constante magnétique, égale à  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m, et  $\mu_r$  la perméabilité relative (sans dimension).

En conséquence de sa perméabilité non-infinie, sa réluctance ne sera pas nulle (contrairement au noyau d'un transformateur parfait).

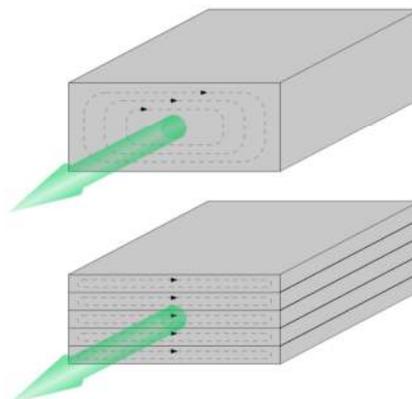
En enfin, selon la loi de **Lenz-Faraday**, le flux alternatif qui provoque un champ magnétique variable crée des **forces électromotrices** dans le conducteur, c'est à dire les bobines et le noyau. Et, par la suite, ces forces électromotrices induisent des courants dans le conducteur. Ces courants sont à l'origine d'un échauffement du conducteur (par **effet Joule**) ainsi que d'un champ magnétique qui s'oppose à la cause de la variation du champ extérieur (c'est la **loi de Lenz**), autrement dit, qui s'oppose au flux alternatif. Ces courants sont appelés "**Courants de Foucault**". Pour calculer la puissance perdue à cause des courants de Foucault, on utilise la relation :

$$P = \frac{\pi^2}{6} \cdot \frac{e^2 B_{\max}^2 f^2}{\rho}$$

Avec  $P$  la puissance perdue par unité de volume,  $\rho$  la résistivité du matériau d'épaisseur  $e$  et soumis perpendiculairement à un champ magnétique d'amplitude  $B_{\max}$  variant sinusoïdalement au cours du temps avec une fréquence  $f$ .

Pour limiter ces courants de Foucault, on utilise des **tôles feuilletées** pour le noyau que l'on isole chacune avec du vernis afin de limiter la circulation de courant d'une tôle à une autre. Cela améliore le rendement.

*fr.wikipedia.org*



Courants circulant dans un noyau de tôles non feuilletées (en haut) et feuilletées (en bas)

c. Les pertes du bobinage : la résistivité

**Les bobinages**, étant en **cuivre**, ont une **résistivité non nulle**, ce qui signifie qu'ils s'opposent à la circulation du courant. Pour le cuivre, à une température d'environ 300 K, sa résistivité est de  $17 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot m$ . (La résistivité, pour les métaux, croît linéairement avec la température).

En résumé, compte tenu des caractéristiques des différents composants du transformateur, on

a **cinq sources de pertes** : la perméabilité non-infinie du noyau et sa réluctance non nulle qui créent des fuites de flux dans les deux enroulements, les fuites par hystérésis et par courants de Foucault, et la résistivité des fils de cuivre impliquant une résistance interne aux deux enroulements.

Ces pertes sont alors à l'origine d'un **rendement du transformateur inférieur à 100%** et un **rapport de tension entre le primaire et le secondaire qui ne sera pas exactement égal au rapport du nombre de tours.**

## 5. Augmenter ou abaisser une tension

Selon le nombre de tours dans le primaire et dans le secondaire, ce dernier alimente la charge avec une tension différente de celle de la source. Les flux magnétiques produits par les courants primaires et secondaires s'annulent. Le flux généré par une bobine étant proportionnel au courant et au nombre de spires, on peut comprendre que :

$$N_1 I_1 = N_2 I_2$$

Avec  $N$  le nombre de spires et  $I$  l'intensité du courant en Ampère (A).

Or on sait que :

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \quad \text{d'où} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

Avec  $U$  la tension en volt et  $I$  l'intensité en ampère.

Et on sait que :

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad \text{d'où} \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

On peut en déduire que :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Les tensions sont donc proportionnelles aux nombres de spires.

Si  $N_1 > N_2$ , le transformateur est dit **abaisseur de tension**.

Si  $N_1 < N_2$ , le transformateur est dit **élévateur de tension**.

## B. Recréer un circuit inspiré d'un transformateur

### 1. Protocole

Pour recréer un tel circuit, il faut les éléments clés d'un transformateur : un générateur, deux bobines (de 500 spires chacune dans notre montage) et un noyau ferrique.

On branche le générateur à la première bobine et on y fait circuler un courant alternatif, d'une fréquence de 50 et 100Hz dans notre montage. Puis, on branche un voltmètre à chacune des bobines afin d'observer la présence de courant dans la seconde bobine, avec un voltage plus ou moins important que dans la première. Enfin, on axe le noyau dans chacune des bobines.

### 2. Expériences

Lorsque le générateur se met en marche, on constate une tension dans la deuxième bobine alors qu'aucun fil ne les relie : le courant alternatif circulant dans la première bobine a créé un champ magnétique variable qui a été converti en électricité dans la seconde bobine.

a. Mise en évidence du rôle du noyau ferrique

S'il on enlève le noyau ferrique, la tension dans la seconde bobine est beaucoup plus faible, même presque nulle, il est donc nécessaire, dans le cas d'un transformateur, d'utiliser un noyau pour améliorer le rendement.

A 100Hz



Bobines sans noyau ferrique proches

b. Mise en évidence de l'influence de la distance sur la tension induite

Et plus on éloigne la seconde bobine, moins la tension à l'intérieur de celle-ci est importante : le champ magnétique créé par la première bobine est plus difficilement capté par la seconde bobine et donc le courant résultant est beaucoup plus faible, d'où cette différence de tension.

A 100Hz



Bobines sans noyau ferrique éloignées

c. Mise en évidence des pertes

Même si on utilise le noyau de fer et même si les deux bobines ont le même nombre de spires, on constate que la tension est légèrement plus basse dans la deuxième bobine que dans la première.

Cette expérience illustre donc bien les pertes que nous avons évoquées tout à l'heure.

A 50 Hz



Bobines avec noyau ferrique

Remarquons que le phénomène est d'autant plus marqué lorsque nous ôtons une partie du noyau ferrique, qui se retrouve donc ouvert. Même la tension à l'intérieur de la première bobine baisse.

A 50 Hz



Bobines avec noyau ferrique ouvert

d. Mise en évidence de la relation nombre de spires-tension

Puis, lorsque nous diminuons de moitié le nombre de spires dans la seconde bobine, on constate que la tension est encore plus faible, ceci est due à la relation entre le nombre de spires des deux bobines et leurs tensions.

Le nombre de spires de la deuxième bobine étant **plus faible** que dans la première, nous sommes donc face à un **circuit abaisseur de tension**.

Témoin  
(Nombre de spires identiques dans les deux)



A 50 Hz

Nombre de spires diminué de moitié  
dans la seconde bobine



Si l'on fait l'inverse et que l'on diminue de moitié le nombre de spires de la première bobine alors que l'on rend le nombre de spires initiales à la seconde, on constate que la tension est plus faible dans la première que dans la deuxième.

Le nombre de spires de la deuxième bobine étant **plus important** que dans la première, nous sommes donc face cette fois-ci à un **circuit élévateur de tension**.

A 50Hz



Témoin  
(Nombre de spires identiques dans les deux)

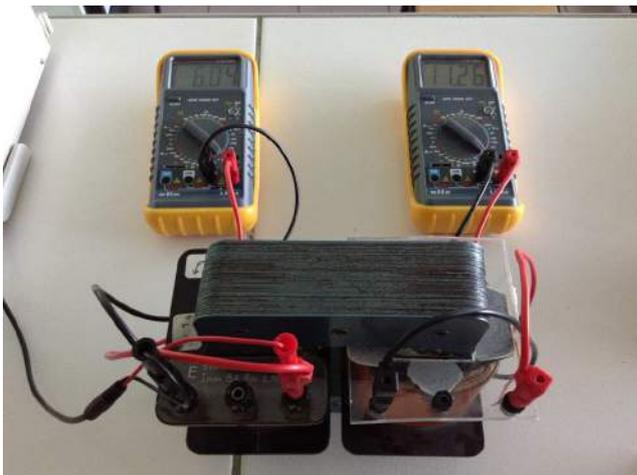


Nombre de spires diminué de moitié  
dans la première bobine

### 3. Petit problème : La Bobine Mystère

Lors de notre recherche de matériel, nous avons trouvé une vieille bobine dont le nombre de spires avait été effacé avec le temps.

Nous avons donc réalisé plusieurs mesures identiques à celles précédentes afin de recueillir l'évolution du voltage de la seconde bobine en faisant varier la fréquence du courant alternatif ainsi que le nombre de spires.



Nombres de spires au max



Nombres de spires diminués de moitié

Après avoir trié toutes les informations, nous avons effectué plusieurs calculs grâce à la formule :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Nous avons donc obtenu ceci :

$$N1 = 500$$

	Pour $f = 50\text{Hz}$	Pour $f = 100\text{Hz}$
U1	5,84	6,04
U2	11,02	11,26
$N2 = (U2 \times N1) / U1$	943,49	932,12

$$N1' = 250$$

	Pour $f = 50\text{Hz}$	Pour $f = 100\text{Hz}$
U1'	4,85	5,44
U2'	9,23	10,22

$N1' = ((U2 \times N1) / U1)$	475,77	469,67
$N2 = N1' \times 2$	951,55	939,34

Moyenne des N2 (arrondie à l'unité)	942
--	-----

D'après nos calculs, le nombre de spires dans cette bobine serait donc de 942.

#### 4. Critique des expériences

Comme pour un transformateur, nous pouvons reprocher environ **cinq sources de pertes** : la perméabilité non-infinie du noyau et sa réductance non nulle qui créent des fuites de flux dans les deux enroulements, les fuites par hystérésis et par courants de Foucault, la résistivité des fils de cuivre impliquant une résistance interne aux deux enroulements.

De plus, pour obtenir des résultats plus persuasifs en ce qui concerne notre sujet, il faudrait que l'on puisse **éloigner beaucoup plus les bobines** tout en gardant **une circulation électrique acceptable dans la seconde**.

### C. Pour aller plus loin

Afin de se détacher des deux "grosses" bobines, nous tentons d'effectuer un nouveau montage qui peut être un peu plus représentatif de ce que l'on voudrait que l'énergie sans fil nous apporte.

Pour cela, nous reprenons le même matériel mais à la place des deux "grosses" bobines, nous prenons deux fils de bobines que nous enroulons afin de former deux cercles. Le premier est relié au générateur, le deuxième à une diode et un **condensateur**, nous permettant de nous débarrasser du noyau ferrique pour augmenter la distance entre les deux bobines.

En effet, ce composant sert à **stocker des charges électriques opposées sur ses armatures**, il est notamment utilisé pour stabiliser une alimentation électrique car il se décharge lors de chutes de tension et se charge lors des pics de tension. Il est utilisé pour traiter des signaux périodiques, pour le filtrage par exemple. Il sert à séparer un courant alternatif d'un courant continu car il bloque ce dernier, et bien sûr à stocker de l'énergie.

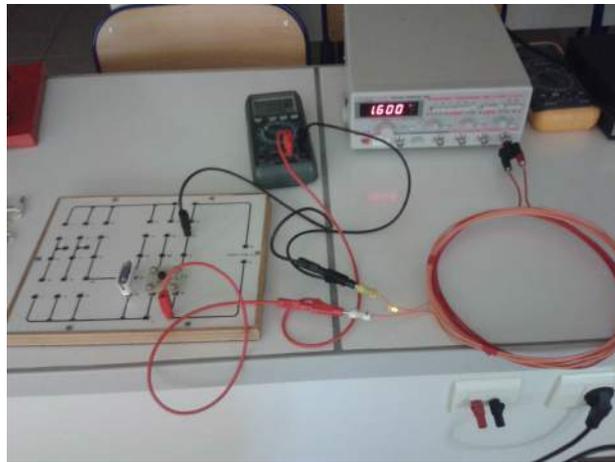
Le condensateur est caractérisé par une proportionnalité entre charge et tension appelée capacité électrique selon la relation suivante :

$$Q = C \times U$$

Avec  $Q$  la charge stockée sur sa borne positive en Coulombs ( $C$ ),  $U$  la tension au borne du condensateur en Volt ( $V$ ), et  $C$  la capacité électrique du condensateur en Farad ( $F$ ).

Dans notre montage, il est très important pour **augmenter le rendement**. En effet, le courant circulant dans les bobines est alternatif, cela signifie qu'il y a constamment chute et pic de tension à répétition et à intervalle régulier. Lors de la chute de tension par exemple, le condensateur se décharge et donc envoie du courant dans le circuit, et l'opération inverse s'effectue lors d'un pic de tension.

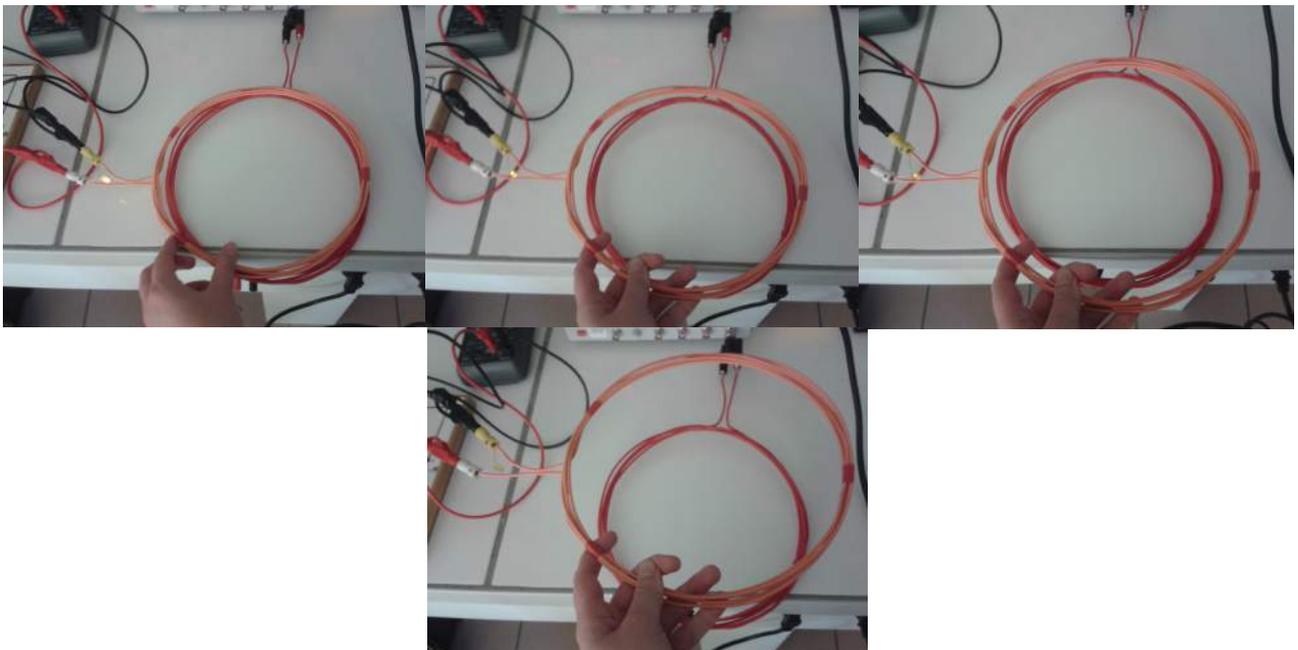
Nous branchons un voltmètre au niveau de la seconde bobine pour y mesurer la tension. Ainsi, nous réalisons le montage ci-dessous :



Photographie de notre montage, 1ère partie

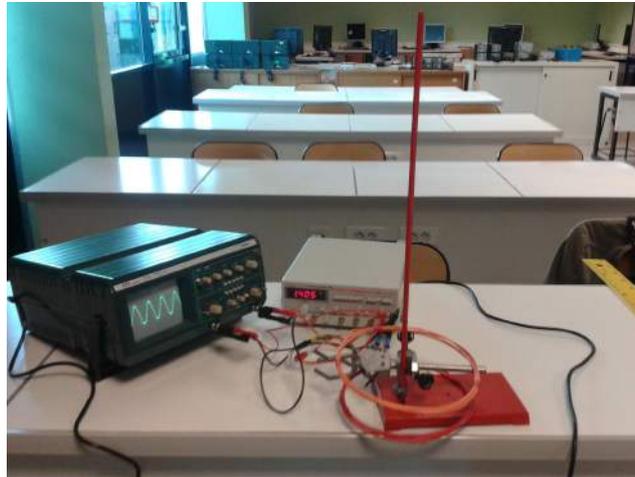
Comme nous pouvons le voir sur la photo, la diode s'allume. Puis, quand on l'éloigne le deuxième enroulement du premier, l'intensité baisse jusqu'à disparaître à une dizaine de centimètres au dessus.

Bobines que l'on éloigne de plus en plus



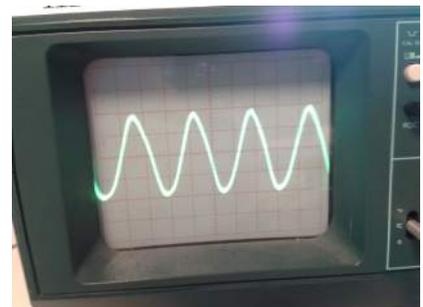
Pour mieux observer ce phénomène, nous réalisons un second montage dans lequel nous remplaçons le voltmètre par un oscilloscope (le voltmètre ne supportait pas une fréquence aussi haute que 1 MHz). De plus, nous utilisons une pince métallique accrochée à une barre verticale afin de faire varier les distances entre les deux bobines tout en les gardant à peu près concentriques (lorsque la deuxième bobine s'éloigne horizontalement de la première, la tension baisse).

Photographie de notre montage, 2ème partie



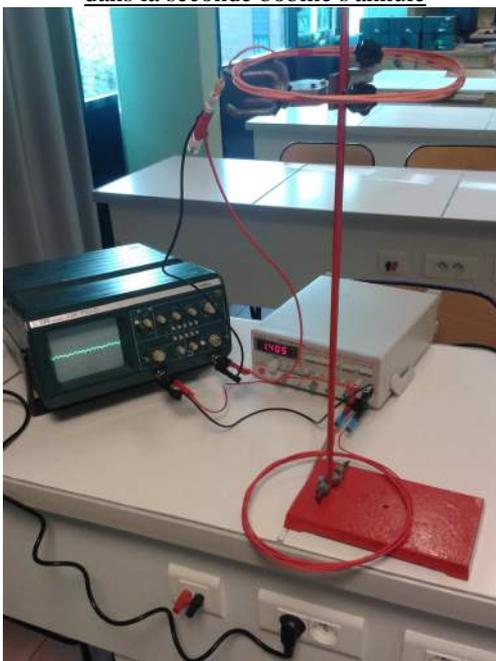
Dans l'oscilloscope, nous pouvons observer une **courbe sinusoïdale**, due au **courant alternatif** circulant dans la seconde bobine.

Quand les deux enroulements sont superposés, on obtient une tension de 4V. Sur la photographie ci-contre, un carreau représente 2V, la courbe atteignant deux carreaux au dessus de l'axe des abscisses, on multiplie ce nombre de carreau par le nombre de Volt que représente un carreau, on obtient donc 4V.



Courbe affichée par l'oscilloscope lorsque les deux bobines sont superposées

Distance à laquelle la tension dans la seconde bobine s'annule

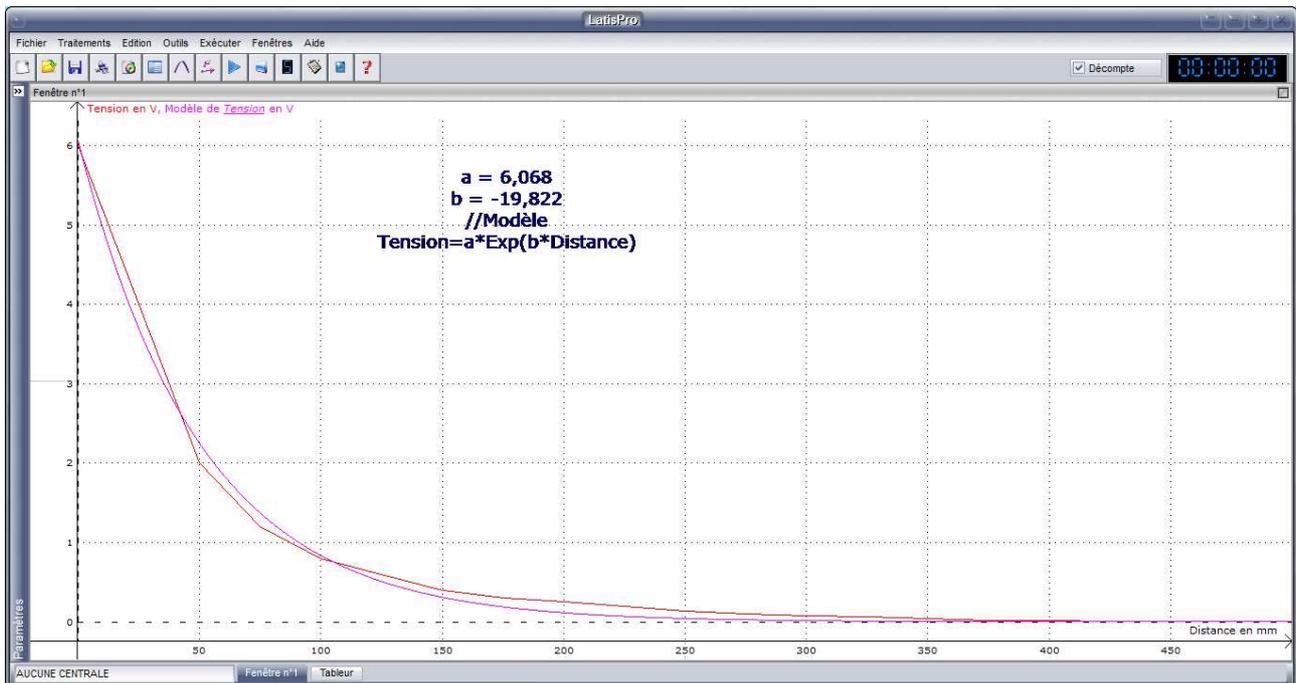


On éloigne la seconde bobine de la première de 2,5 cm successivement, en relevant la tension à chaque fois grâce à l'oscilloscope, et jusqu'à ce qu'elle s'annule.

Il semble que la tension à l'intérieur du second enroulement soit **égale à zéro à une cinquantaine de centimètres au dessus de la première**.

Ce résultat est d'autant plus représentatif de l'induction magnétique que le premier montage car la diode cessait de s'allumer à une dizaine de centimètres au dessus du premier enroulement. On pourrait alors penser qu'aucune tension ne circule dans la diode à cette distance mais c'est en réalité due au fait qu'elle possède une **tension de seuil d'environ 1V** : au dessus de 10cm d'écart entre les deux bobines, la tension devient inférieure à 1V, la diode cesse donc de s'allumer.

Grâce à toutes ces mesures et à l'aide du logiciel LatisPro, nous avons pu réaliser le graphique suivant décrivant l'évolution de la tension circulant à l'intérieur de la deuxième bobine en fonction de la distance la séparant de la première :



Nous avons obtenu la courbe rouge que nous avons modélisé par une **fonction exponentielle** représentée par la courbe rose et ayant une formule à peu près égale à :  $6 * e^{-20x}$

Critique :

Les résultats, même s'ils sont plus convainquants que dans les premières expériences, ne sont pas encore assez satisfaisants car **la tension à l'intérieur du second enroulement baisse très vite** quand on s'éloigne du premier enroulement.

Les moyens et outils que nous avons à disposition pour nos expériences ne nous permettent pas d'obtenir de résultats très convaincants, mais cela ne veut pas dire que ce n'est pas possible car on peut obtenir des résultats plus que satisfaisants grâce à un budget plus élevé, c'est le cas de **l'entreprise WiTricity spécialisée dans l'électricité sans fil.**

## II. L'entreprise WITRICITY

### A. Les recherches menées par l'entreprise

#### 1. Un BIP la nuit

Tout commença tard dans la nuit, alors que Marin Soljačić, debout en pyjama devant le comptoir de la cuisine, faisait face à son téléphone. Cela faisait la sixième fois du mois que son téléphone le réveillait pendant la nuit pour lui indiquer qu'il avait oublié de le recharger.

Marin Soljačić pensa alors : « Il y a des câbles électriques tout au long de cette maison, tout au long de mon bureau, partout. Ce téléphone devrait pouvoir se recharger sans mon aide ! ».

Tenant une idée révolutionnaire, le physicien commença à réfléchir sur la méthode la plus efficace pour permettre de faire de ce rêve une réalité.

*kaskus.co.id*



Marin Soljačić, PDG de WiTricity



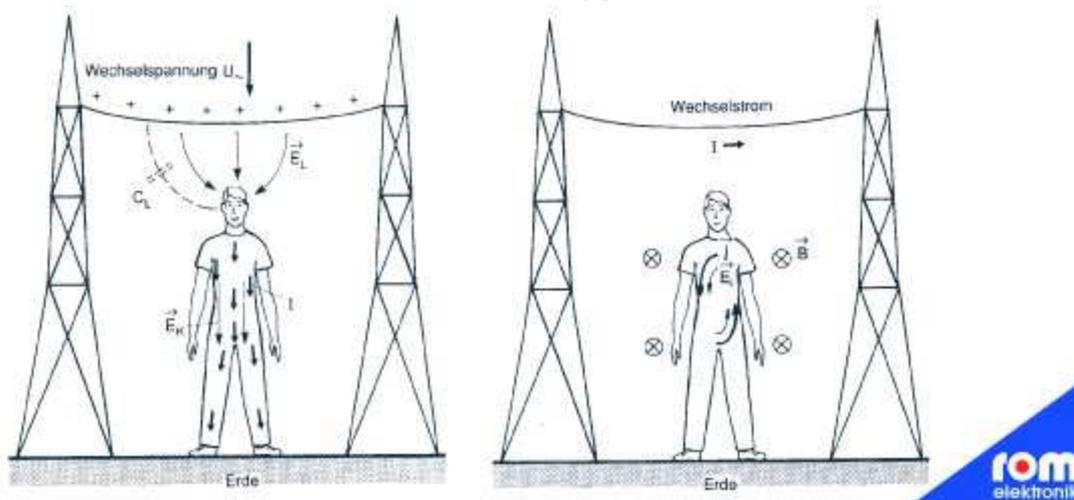
*businesswire.com*

#### 2. La dangerosité des champs magnétiques

Mais il fallait non seulement penser au côté évidemment pratique de ce système, mais il était aussi nécessaire de prendre en compte **la santé des futurs utilisateurs**.

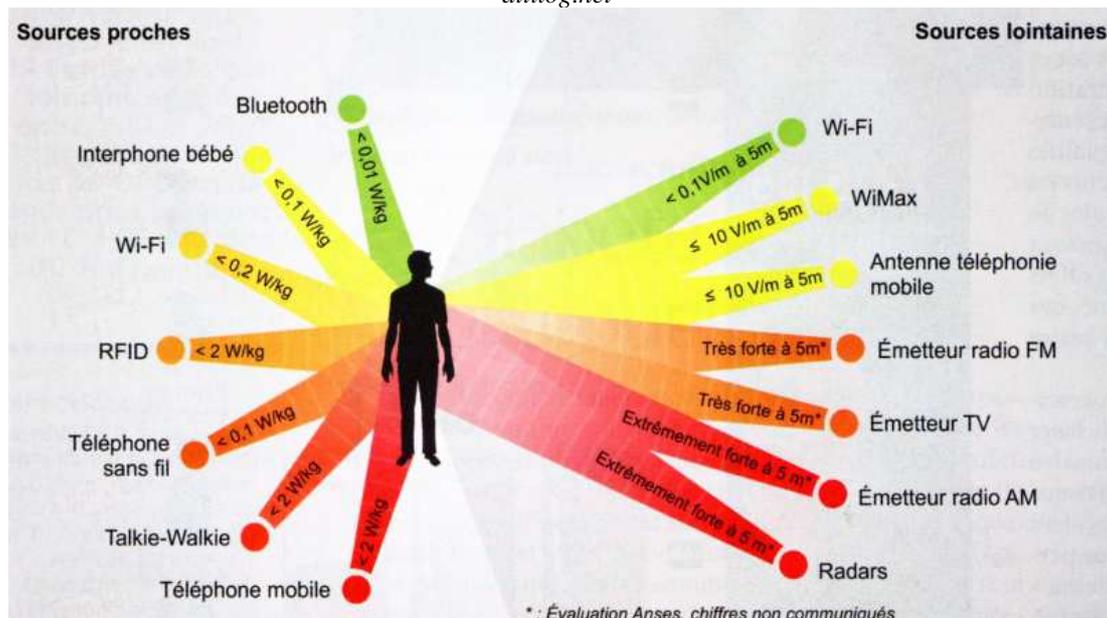
En effet, même si nous vivons en permanence au contact du champ magnétique terrestre, nous sommes tout de même **sensibles à ce type de champ**. En effet, il induit au niveau de la peau des personnes exposées **une modification de la répartition des charges électriques**.

*habitatetsante.blogspot.com*



Effets d'une exposition à longue durée à un champ électromagnétique fort

On peut donc assister à des **réactions cutanées, des malaises, des troubles visuels et même des risques cancérogènes accrus, etc.**



Puissance d'émission de certaines ondes électromagnétiques

### 3. Une solution pour préserver la santé des futurs utilisateurs

Pour éviter que nous soyons au contact d'un champ magnétique fort, les chercheurs de WITRICITY ont alors mis en place un système permettant à l'émetteur et au récepteur (ici, le téléphone portable) d'échanger fortement entre eux pour une plus grande efficacité de la recharge, tout en interagissant faiblement avec les êtres vivants et les autres objets de la maison : la **résonance couplée**.

La **résonance** est un phénomène selon lequel certains systèmes physiques (électriques, mécaniques...) sont **sensibles à certaines fréquences**. Un système résonant peut accumuler une énergie, si celle-ci est appliquée sous forme périodique, et proche d'une fréquence dite « fréquence de résonance ». Soumis à une telle excitation, le système va être le siège d'oscillations de plus en plus importantes, jusqu'à atteindre un régime d'équilibre qui dépend des éléments dissipatifs du système, ou bien jusqu'à une rupture d'un composant du système.

Ici, la résonance est couplée, cela signifie que seuls deux objets d'**à peu près de même fréquence de résonance** vont interagir entre-eux.

Pour mieux se représenter ce phénomène, on utilise souvent l'image d'une pièce que l'on aurait remplie d'une centaine de verres de vin identiques que l'on aurait chacun rempli à un niveau différent. Ainsi, ils émettent chacun un son différent lorsqu'on donne un petit coup avec une cuillère en métal par exemple : chaque verre résonne à une fréquence différente.



Verre à vin remplis à différents niveaux

Si un chanteur d'opéra entre dans cette pièce et chante une seule note, claire et très forte, le verre de vin se comporte comme un système oscillant. Les ondes sonores qui se propagent dans l'air sont capturées par le verre, et l'énergie sonore est convertie en vibrations mécaniques du verre lui-même. Le verre ayant la fréquence de résonance correspondante à cette note commence à vibrer et peut accumuler suffisamment d'énergie pour se briser, tandis que les autres verres ne seront pas affectés.

*wax-science.fr*



Différentes étapes d'un verre ayant accumulé suffisamment d'énergie pour se briser

Ce verre et cette note sont alors des **résonateurs couplés**.

Des résonateurs couplés ont des fréquences de résonances à peu près semblables et sont censés fonctionner dans un régime fortement couplé si le taux de transfert d'énergie est sensiblement plus élevé que la vitesse à laquelle ils perdent de l'énergie à cause de facteurs tels que le matériau d'absorption ou le rayonnement.

Dans un régime fortement couplé, le transfert d'énergie peut être très efficace.

C'est pour ces propriétés très intéressantes que Marin Soljačić et ses collègues, Karalis et Joannopoulos, ont décidé d'étudier et de développer le système de forts résonateurs magnétiques couplés afin de transférer de l'électricité sur de grandes distances, et ainsi de permettre de réaliser le dispositif de recharge sans fil que Marin Soljačić a imaginé.

Leurs résultats théoriques ont été publiés pour la première fois en 2006, et de nouveau en 2008 dans les "Annals of Physics". Peu après, Marin Soljačić et son équipe (Kurs, Karalis, Moffatt, Joannopoulos, Fisher) ont pu développer ces théories dans le but de les valider grâce à des expériences.

#### 4. Une expérience révolutionnaire

Le projet a pour objectif de couvrir **un large éventail de résonateurs couplés**, mais l'équipe s'était alors contentée d'axer le travail expérimental sur la preuve que les résonateurs à couplage magnétique pourraient échanger de l'énergie de la manière prévue, et d'une quantité nécessaire pour la recharges sans fils des périphériques, tels que les téléphones.

L'équipe a ensuite analysé un système de deux résonateurs électromagnétiques couplés à travers leurs champs magnétiques, et ont pu alors identifier le régime fortement couplé à ce système et montrer que le couplage fort peut être réalisé sur des distances excédant considérablement la taille des résonateurs eux-mêmes.

C'est alors que l'on a pu prouver que, dans ce régime fortement couplé, **un transfert d'énergie sans fil efficace pouvait être possible**.

Leur expérience réussie a été publiée dans la revue "Science" en 2007.

Dans leur expérience, ils ont utilisé **deux bobines de cuivres équipées d'un système d'auto-résonance chacune**. La première bobine est équivalente à l'enroulement primaire d'un

transformateur car c'est elle qui reçoit le courant alternatif. On l'a appelé "**source**". La deuxième peut être quant à elle comparée à l'enroulement secondaire d'un transformateur car elle réceptionne le champ magnétique et le convertit en courant pour allumer une ampoule de 60 Watts. On l'a nommé alors "**dispositif de capture**" ou "capture".

Les deux bobines ont été suspendues dans l'air, grâce à des fils de nylon, à des hauteurs allant de quelques centimètres à plus de 2,5 mètres.

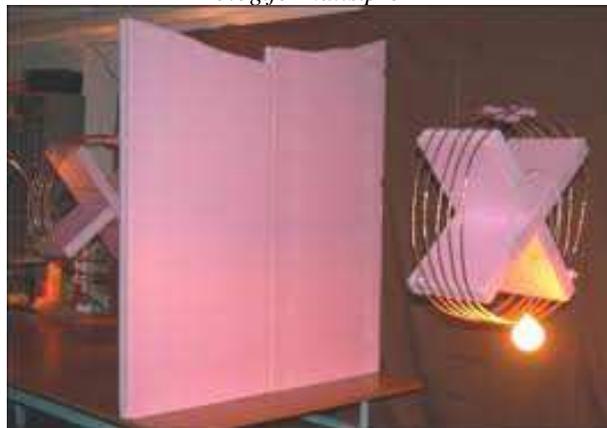
*gnet.tn*



Expérience réalisée par Marin Soljačić et son équipe

Dans cette expérience, non seulement **l'ampoule s'est allumée**, mais en plus, l'équipe a démontré qu'en plaçant divers objets entre la source et la capture, **le champ magnétique proche pouvait transférer de l'énergie à travers certains matériaux et autour des obstacles métalliques**.

*blog.formatis.pro*



Expérience de Marin Soljačić et son équipe avec un mur entre les deux bobines

Alors, les prédictions théoriques de **rendement élevé sur la distance** ont pu être prouvées.

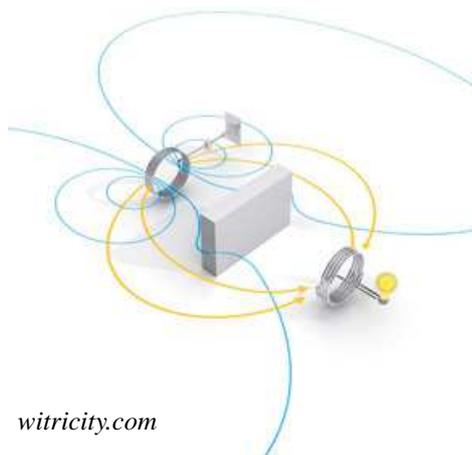
WiTricity Corporation a ensuite été lancée en 2007 afin de poursuivre les recherches dans le domaine par les laboratoires du MIT (Massachusetts Institute of Technology) jusqu'à la production commerciale.

## **B. L'avenir pour l'électricité d'après WiTricity**

Le point fort de cette technologie est de pouvoir transmettre de l'électricité **en toute sécurité, efficacement et à distance**, et, intégrée à des appareils, permet de les rendre **plus pratiques, plus fiables et plus respectueux de l'environnement**.

Ainsi, la technologie de WiTricity promet de fournir toute l'énergie dont un appareil a besoin, sans piles, s'il est toujours à portée de sa source d'alimentation Witricity. Les batteries peuvent donc se recharger, que l'appareil soit en marche ou qu'il soit éteint, sans besoin d'utiliser de cordon d'alimentation ou de changer la batterie. Pour les appareils fixes, il suffit juste de se trouver à portée de la source d'alimentation pour que la recharge s'effectue.

Diagramme explicatif de l'effet de la source d'alimentation WiTricity sur deux résonateurs couplés séparés par un mur



witricity.com

*La source d'alimentation WiTricity, à gauche, est branché sur le secteur.  
Les lignes bleues représentent le champ magnétique induit par la source d'alimentation.  
Les lignes jaunes représentent le flux d'énergie provenant de la source à la bobine WiTicity de capture, qui est représenté sur l'alimentation d'une ampoule.  
A noter que ce diagramme montre également comment le champ magnétique (lignes bleues) peut enrouler autour d'un obstacle conducteur entre la source d'alimentation et le dispositif de capture.*

## 1. Pour le grand public

WiTricity permet la recharge des appareils du quotidien, quelque soit la demande en puissance et le nombre d'appareils à recharger.

Elle projette en effet d'effectuer, d'une part, **la recharge de l'électronique mobile** (téléphones, ordinateurs portables, ...) **sans fil, de manière automatique, et partout** : dans les maisons, les voitures, les bureaux, les points d'accès publics.

Et d'autre part, l'entreprise vise à assurer **l'alimentation sans fil des appareils fixes** (téléviseurs à écran plat, haut-parleurs sans fil, ...), toujours sans fil, éliminant donc câblage personnalisé coûteux, câbles disgracieux et blocs d'alimentation. Mais aussi, WiTricity permet **l'alimentation sans fil de périphériques** des ordinateurs de bureau ( souris, claviers, imprimantes, écrans).

Portée d'une source d'alimentation WiTricity dans une maison



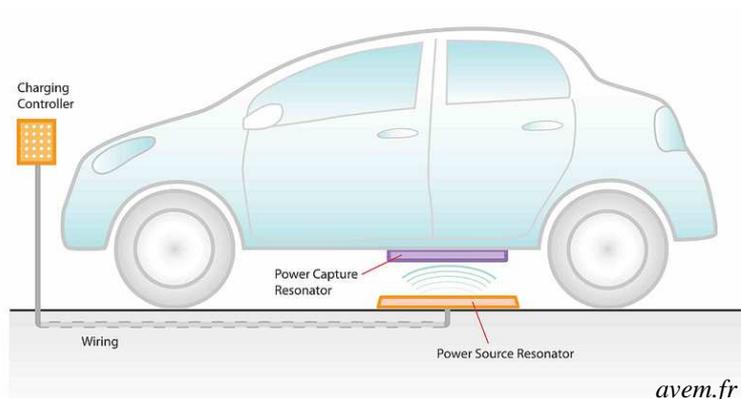
edition.cnn.com

## 2. Pour l'automobile

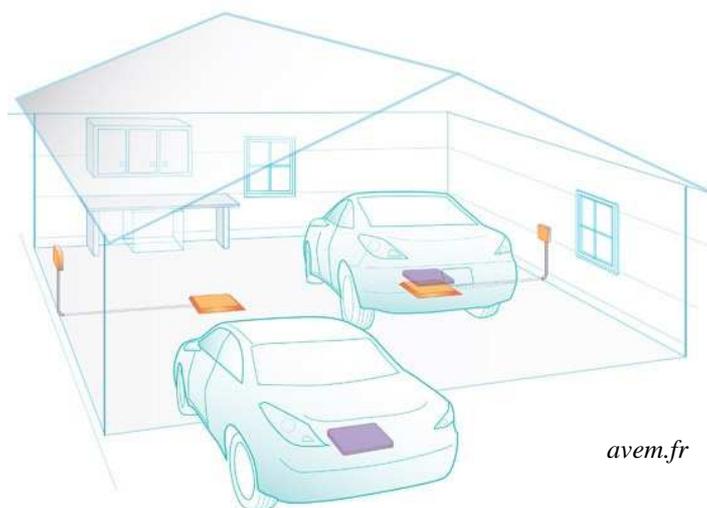
Les véhicules électriques et hybrides présentent un grand intérêt écologique, mais la recharge rebutent les consommateurs : il faut la faire plus ou moins souvent, à certains endroits seulement en dehors de la maison, et pas d'une manière très pratique.

L'entreprise WiTricity propose donc une solution au problème en créant **une expérience plus efficace et plus conviviale** pour les acheteurs potentiels de véhicules électriques.

Grâce au Kit de développement WIT-3300, le conducteur n'a plus besoin de brancher sa voiture à une source d'alimentation avec câbles : **la recharge est automatique** à la maison, dans les garages de stationnement, dans les dépôts de la flotte, et dans les kiosques à distance. Ce kit permet même **la recharge d'appareils mobiles pendant la conduite**, sans la nécessité de cordons d'alimentation.

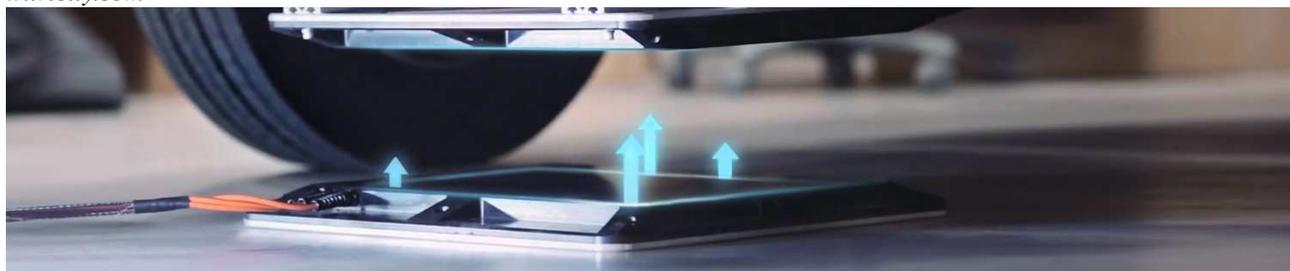


Système de recharge imaginée par WiTricity



Source d'alimentation installée dans un garage et voiture équipée d'une capture

witricity.com



WIT - 3300 conçu par l'entreprise WiTricity

### 3. Pour l'industrie

L'industrie représente un véritable défi en ce qui concerne l'alimentation en électricité, que ce soit pour l'installation ou bien le rendement. En effet, on doit souvent avoir recours à des câblages dans des endroits éloignés, ou bien les équipements sont hors du champ de recharge des batteries. De plus, l'utilisation de combustibles fossiles et de moteurs à combustion ne produisent pas une quantité d'énergie suffisante pour être très efficace.

L'entreprise Witricity a donc pour but de créer des **interconnexions électriques sans fil** par exemple pour la rotation et la mise en mouvement de robots, mais aussi pour les environnements où il est difficile de câbler, voire impossible, comme les mines ou les sous-marins.

Également, l'entreprise vise à assurer **l'alimentation sans fil de capteurs et d'actionneurs**. Ainsi, il n'est plus nécessaire d'installer des câblages coûteux ou de remplacer les piles.

Les appareils mobiles pourront eux aussi bénéficier de la recharge sans fil (robots mobiles, véhicules autonomes, outils), et pourront alors se passer de mécanismes complexes d'accueil, de recharge manuelle et batteries de remplacement.

### 4. Pour l'armée

WiTricity tend à offrir un grand potentiel pour une multitude d'applications militaires d'aujourd'hui. L'entreprise travaille sur des composants de la prochaine génération militaire, et vise à optimiser la forme, l'ajustement et la fonction des systèmes et des dispositifs militaires afin qu'ils soient plus efficaces, sûrs et fiables.

Actuellement, il y a un certain nombre de projets militaires en développement ou en cours d'évaluation, notamment **la recharge sans fil automatique pour les systèmes militaires de haute technologie**, tels que les appareils alimentés par batteries mobiles ou les robots mobiles sans pilote et avion.

L'entreprise élabore aussi le **transfert d'énergie** du gilet du soldat au casque et du casque à la lunette optique pour permettre de la désembuer.

*engadget.com*



Prototypé de gilet équipé de la technologie WiTricity

## 5. Pour la médecine

Le point fort de WiTricity est de pouvoir assurer la recharge et le fonctionnement d'appareils et de dispositifs divers à distance et très efficacement, et cela représente un grand intérêt dans le domaine médical.

En effet, certains dispositifs médicaux implantés exigent un **niveau élevé de puissance** pour les faire fonctionner. L'entreprise a donc pour but de remplacer l'induction magnétique traditionnelle de dispositifs de puissance à travers la peau, qui avait toujours provoqué un échauffement excessif des tissus et qui ne permettait qu'un transfert d'énergie peu efficace.

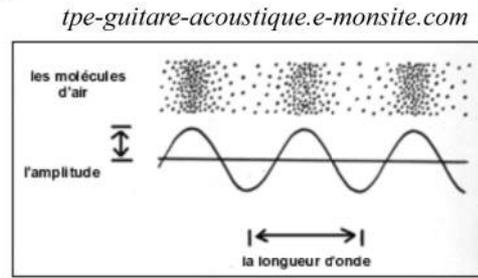
Grâce à la technologie WiTricity, le dispositif de capture d'énergie peut être implanté **profondément dans la cavité du corps**, plusieurs centimètres sous la peau. De même, la source d'énergie peut être de **plusieurs centimètres de la surface de la peau**, facilitant notamment la mise en place de dispositifs d'assistance ventriculaire, stimulateurs cardiaques, et de défibrillateurs. Ainsi, les lignes de commande qui pénètrent la peau ne seraient plus nécessaire, cela limiterait en plus le risque d'infection.

Enfin, les chariots médicaux transportant des ordinateurs et d'autres instruments de diagnostic pourraient être rechargés et alimentés sans fil à partir de sources intégrées tout au long de l'hôpital, ce qui élimine le besoin de câbles et la recharge de la batterie stationnaire.

# III. Les ULTRASONS

## A. Définition du son

Un son est un **phénomène périodique de nature ondulatoire**. La vibration d'un émetteur sonore, comme celle d'un haut-parleur, engendre une suite de **compressions et de dilatations de l'air** qui se propage jusqu'à faire vibrer le tympan de l'oreille, ce que le cerveau interprète ensuite comme un son. Il nécessite donc un support matériel **et ne se propage pas dans le vide**.

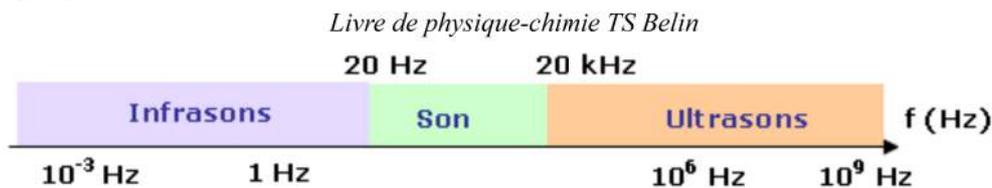


Molécules d'air au passage d'une onde de compression-dilatation et l'amplitude correspondante

Un microphone permet de transformer un **signal sonore** en **signal électrique** analogique.

Les variations de tension obtenues en sortie du microphone sont analogues aux variations de la pression acoustique captées au niveau du microphone, qui sont continues dans le temps. La fréquence de ce signal électrique permet une première caractérisation de l'onde sonore.

Le domaine des fréquences audibles concernant les sons se situe, selon les individus et leur âge, entre 20 et 20 000 Hz (Hertz). Au-delà d'une fréquence de 20 000 Hz, on parle **d'ultrasons**.



Les différents domaines de fréquences des ondes sonores

## B. Les ultrasons

### 1. Point historique

En 1880, la découverte de la piézo-électricité, par les frères Pierre et Jacques Curie, permet, trois ans plus tard, de produire facilement des ultrasons et de les utiliser.

La même année, le physiologiste anglais Francis Galton invente un « sifflet à ultrasons ». En soufflant dedans, il remarque que l'homme ne perçoit rien alors que les chiens réagissent. Durant la Première Guerre Mondiale, ils sont utilisés **pour détecter**, par exemple, les sous-marins.

En 1918, **Langevin** les utilise **pour mesurer** la profondeur et **localiser** les icebergs

avec des sonars, qui se répandent dans le courant des années 20.

A partir des années 70, on les voit apparaître dans le domaine médical avec les échographies.

## 2. Définition d'ultrasons

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques qui se propagent **en forme de sinusoides** comprises entre 20 kHz et 1Ghz. Leurs fréquences sont si élevées, qu'elles sont **inaudibles pour l'Homme**.

Les ultrasons se déplacent à vitesses variées et dans différents milieux. **Ils se propagent particulièrement bien dans l'eau** c'est pourquoi de nombreux animaux les entendent (et parfois les utilisent pour communiquer) comme par exemple : les dauphins. Ils ont une vitesse de propagation de l'ordre de **340 m/s dans l'air** et **de 1500 m/s dans l'eau**.

La façon la plus simple afin de produire des ultrasons, est d'utiliser **un émetteur** comme **une enceinte sonore** par exemple, qui **produit du son par vibration d'une membrane soumise à un courant électrique**. Mais cette méthode permet seulement de produire des ultrasons de fréquences relativement faibles.

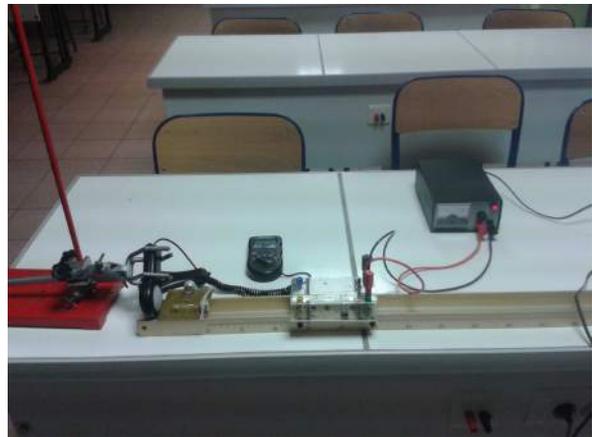
## 3. Expérience

Nous cherchons à voir si les ultrasons **parviennent à créer du courant pour allumer une DEL**.

Pour réaliser cette expérience, nous avons eu besoin **d'un générateur de courant continu, un émetteur** qui répand donc des ultrasons, **un récepteur** d'ultrasons, deux DEL, **un luxmètre** et **une règle graduée**.



Matériel nécessaire à notre montage



Photographie de notre montage

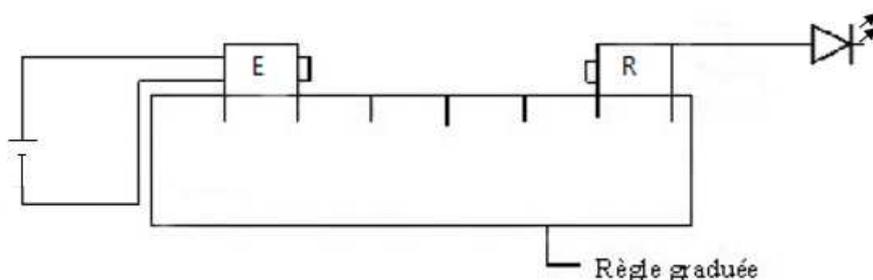


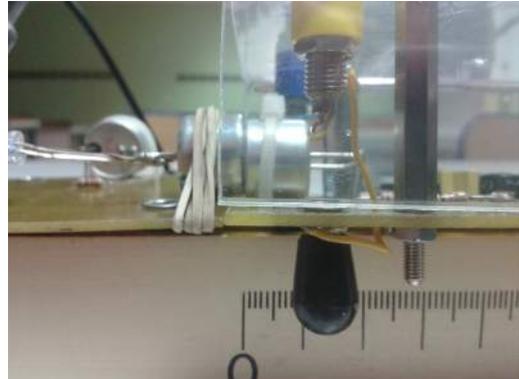
Schéma normalisé du montage

Nous avons tout d'abord branché l'émetteur au générateur. Puis, nous avons placé l'émetteur au niveau 0 de la règle graduée, avec le récepteur contre celui-ci et les DEL reliées au bout.

Nous décidons de régler le générateur à 15V, et nous plaçons ensuite le luxmètre de manière à ce qu'il capte la lumière émise par les deux DEL.

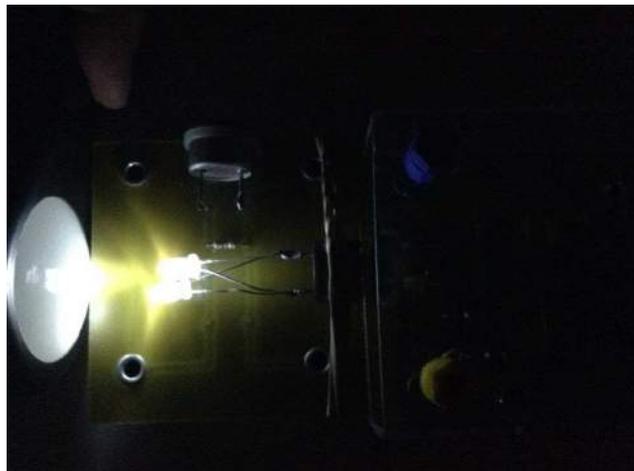


Le capteur du luxmètre et le récepteur



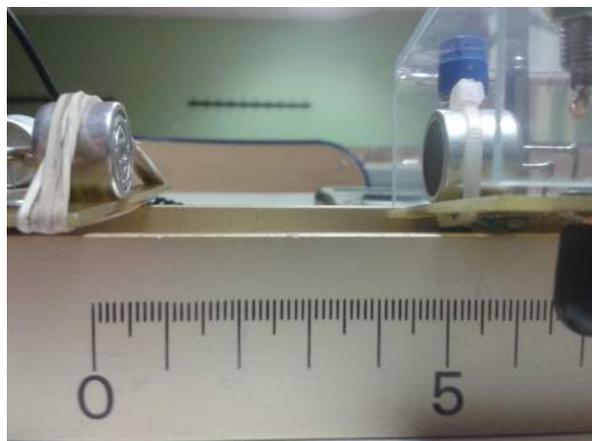
L'émetteur contre le récepteur

Nous remarquons que les DEL s'allument.



Photographie des DEL lorsqu'elles sont proches de l'émetteur et du récepteur

Nous éloignons ensuite le récepteur progressivement en relevant les mesures tous les 0,5cm.

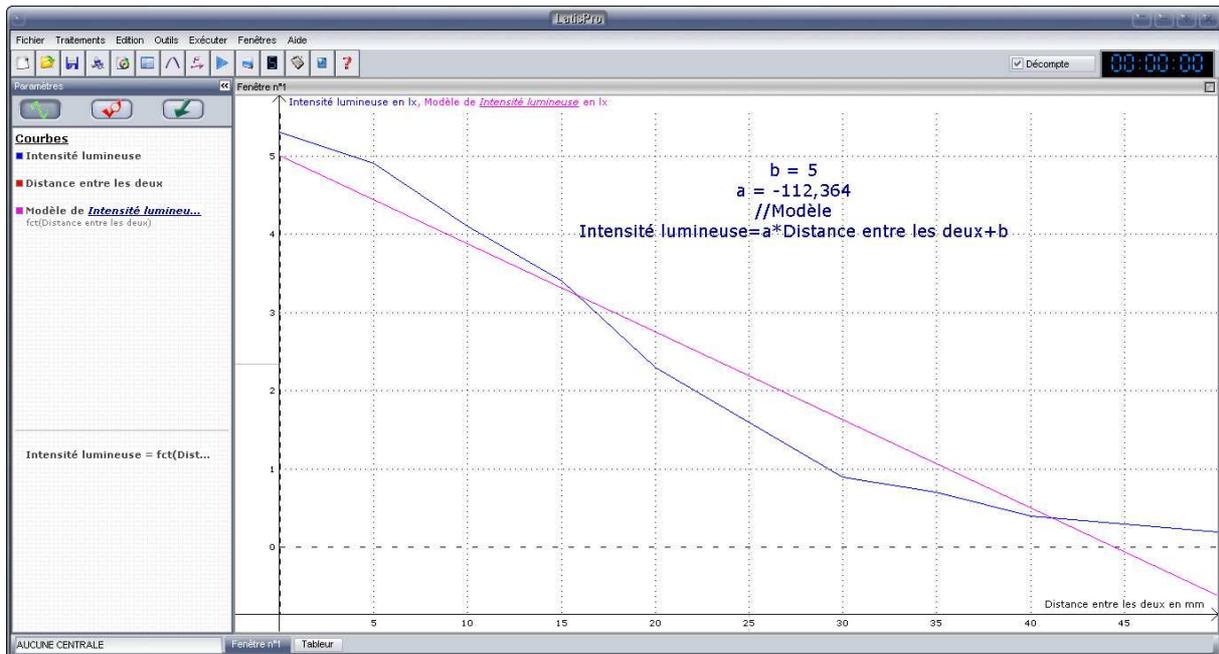


L'émetteur et le récepteur éloignés de 5cm

Même lorsque le récepteur et l'émetteur ne sont plus en contact, les DEL restent allumées mais avec une intensité plus faible : **plus on éloigne** le récepteur de l'émetteur, **plus l'intensité lumineuse baisse**, jusqu'à disparaître complètement.

Pour expliquer ce phénomène, l'émetteur qui pourrait jouer le rôle d'un haut-parleur, envoie des ultrasons jusqu'au récepteur qui les reçoit et qui, lui, joue le rôle de microphone. A la réception des ultrasons, une membrane se met à vibrer **pour enfin créer de l'électricité**.

Grâce à nos mesures, nous avons pu établir le graphique suivant :



#### 4. Critique de l'expérience

Les résultats que nous obtenons montrent qu'**il est possible de transmettre de l'électricité sans utiliser de fil entre l'émetteur d'ultrasons et le récepteur**. Cependant, dans notre expérience l'intensité de la DEL baisse très rapidement, il est nécessaire donc de trouver un moyen d'améliorer le rapport distance/intensité.

Mais l'entreprise Ubeam travaille justement sur la manière de régler ce problème. Pour cela, un émetteur est branché à un secteur, et **transforme l'électricité en ultrasons**.

Le récepteur est, par exemple, un film collé à un smartphone et **réalise l'opération inverse grâce aux vibrations qui créent de l'électricité via un matériau «piézoélectrique»** : c'est la propriété que possèdent certains corps de se polariser électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique et réciproquement de se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique. Cette propriété trouve un très grand nombre d'applications dans l'industrie et la vie quotidienne.



## IV. Principe et fonctionnement de la Tour Tesla



### A. Point historique

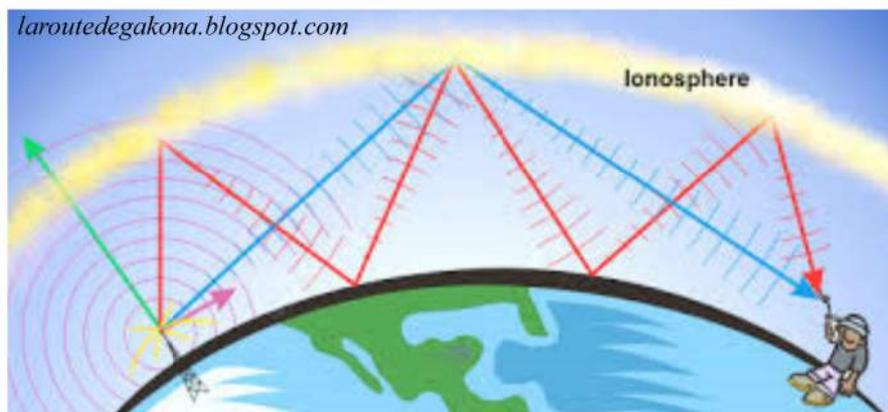
La tour Tesla (=ou Tour de Wardenclyffe) imaginée à partir de 1898 par **Nikola Tesla** est un bâtiment technologique dont le but est **de transmettre de l'énergie électrique et des informations sans fil.**

Sa construction débute en 1901 mais ne s'achèvera jamais car elle est démolie en 1917.

L'échec de ce projet est en partie dû à **l'arrêt des financements par les industriels, qui ne voyaient aucun intérêt à une énergie gratuite** et, étant capable de soutirer et de diriger l'énergie de l'ionosphère quelques deux milliards de volt, il était en mesure de détruire une ville, une arme plus dévastatrice que la  bombe atomique.

### B. Fonctionnement de la Tour Tesla

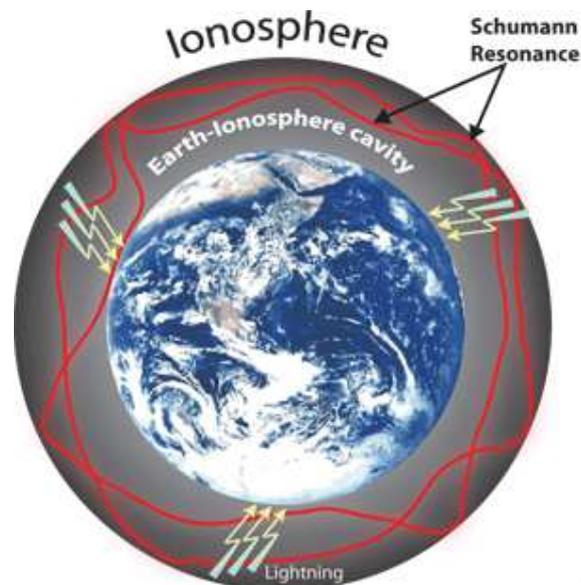
Tesla étudia un phénomène que l'on appelle **la résonance Schumann**, il élaborera alors une théorie pour utiliser de nouvelles sources d'énergies illimitées qui profiteraient à tous les humains de la Terre. Il existe autour de la Terre une cavité qui résonne à environ huit cycles par seconde (8 Hz), **cette cavité est comprise dans l'espace entre le sol et l'ionosphère.**



Comportement des ondes radios dans la ionosphère

Cette bande qui fait environ 60 km est **une caisse de résonance tridimensionnelle dans laquelle on peut transmettre de l'énergie électromagnétique de 8 Hz.**

La résonance de Schumann tire ces mégawatts de l'énergie des éclairs qui se produisent plusieurs fois par seconde sur toute la surface du globe.

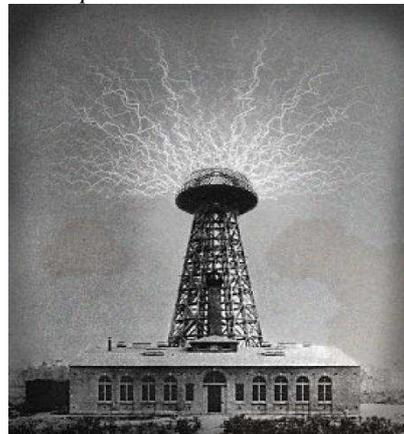


*cret.blogspot.com*

Le principe de la résonance de Schumann dans la ionosphère

Le principe est simple : utiliser un émetteur d'énergie électrique avec une pulsation électrique qui répartirait cette énergie dans l'ionosphère, et au moment précis où l'énergie arrive de l'autre côté de la Terre, Tesla aurait envoyé une autre pulsation électrique et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'énergie accumulée devienne si importante qu'elle puisse être captée par une antenne.

*planete-revelations.com*



Représentation de la Tour de Tesla

Il mit au point la technologie qui lui permettrait de produire des courants à très haute tension : **une fois le dispositif actionné, les éclairs qui apparaissent dans son laboratoire sont retransmis à l'antenne et la boule de cuivre qui la surmonte.**

Des éclairs bleutés pouvant atteindre plus de 30m traversent le ciel provoquant un tonnerre audible à plus de 25 km à la ronde.

Tesla démontra ainsi que les courants d'énergie de la Terre peuvent être **utilisés pour transmettre de l'électricité n'importe où sur la planète.**

Mais, alors que l'idée de Tesla avait été abandonnée depuis près de 100 ans, deux physiciens russes, Leonid et Sergey Plekhanov, tous les deux diplômés de l'institut de physique et de technologie de Moscou, **font parler d'eux en exprimant leur désir de reconstruire cette fameuse tour.**



Leonid et Sergey Plekhanov  
[www.espritsciencemetaphysiques.com](http://www.espritsciencemetaphysiques.com)

D'après eux, Tesla avait raison : **on peut produire de l'électricité pour tous et sans utiliser de fil.** Pendant ces cinq dernières années, les deux physiciens ont alors étudié et modélisé les notes et les brevets de Tesla concernant la Tour de Wardencllyffe et sont arrivés à la conclusion que le projet est viable en la combinant avec des matériaux et technologies modernes. Ils s'expliquent : « **Le principe de la conception actuelle est que nous avons déjà une source illimitée pour toute l'énergie dont nous avons besoin: le soleil. Un panneau solaire de 100 000 kilomètres carrés quelque part dans le désert suffirait pour recouvrir tous nos besoins mondiaux d'énergie.** »

*lepouvoirmondial.com*



Prototypage de la "nouvelle" Tour de Tesla conçue par Leonid et Sergey Plekhanov

En conclusion, nous pouvons dire que notre étude nous a prouvé qu'il est possible de transmettre de l'électricité d'un point A à un point B sans utiliser de fil entre les deux, notamment grâce à un champ magnétique variable et la résonance, grâce aux ultrasons et à la vibration d'une membrane, et enfin, on peut supposer que transmettre de l'électricité sans fil sera également possible avec l'aide d'une "nouvelle" Tour de Tesla implantée en Russie.

*Avec tout cela, il y a de quoi en perdre le fil !*