

Transmission d'électricité sans fil par le biais  
de systemes de tranfert d'énergie inductive  
(IPTS)

Blaise Ribon, Léo Boudoin, Quentin Boyer

Décembre 2014

## Résumé

Suite à l'expérience menée en 2007 au MIT , nous savons qu'il est possible de transmettre de l'électricité à travers de moyennes distances, de l'ordre de 5m. Ce type de transmissions d'électricité pourrait simplifier les réseaux électriques domestiques étant donné le nombre de câbles demandés par chaque appareil électronique, qui prolifèrent. Mais nous verrons que cette technologie et celles semblables se heurtent à des freins majeurs dans la pratique et que leur mise en place est assez complexe.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Définition et Utilisation de l'électricité</b>	<b>2</b>
1.1	Historique de l'électricité . . . . .	2
1.2	Avancées technologiques et Utilisation . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Raisons de la transmission de l'électricité par des solutions non câblées</b>	<b>5</b>
2.1	–TODO– . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Les technologies de transmissions d'électricité : câblées et sans-fil</b>	<b>6</b>
3.1	Presentation des technologies présentes . . . . .	6
3.1.1	Solution majoritaire actuelle : Les technoloogies câblées	6
3.1.2	Une solution IPTS efficace : Le systeme de couplage magnetique par resonance (CMRS) [1] . . . . .	8
3.1.3	Une solution IPTS assez fiable : Une transmission utilisant des {Dipole coils}[2] . . . . .	10
3.2	Avantages et limitations des technologies étudiées . . . . .	11
3.3	Technologies alternatives pour transmetre de l'énergie [7] . . . .	12

# Chapitre 1

## Définition et Utilisation de l'électricité

### 1.1 Historique de l'électricité

FIGURE 1.1 – Le feu dans la préhistoire



À la Préhistoire déjà, l'Homme a utilisé l'électricité. Par le biais de l'effet Joule, la foudre, en tombant sur le sol, pouvait enflammer des arbres, et parfois créer des incendies dévastateurs. En utilisant ces flammes, les

hommes de cette époque on pu se procurer lumière et chaleur, ainsi qu'une protection efficace contre les prédateurs de l'époque, chose si rare et recherchée qu'elle a donné naissance au mythes "guerres du feu". Là se résume l'histoire de la domestication de l'électricité pendant des millénaires. Jusqu'au jour où Thalès de Milet(vers 625-vers 547 avant JC), un philosophe grec de l'Antiquité observe le fait que l'ambre jaune, frotté, attire des corps légers comme des brins de paille ou des barbes de plumes. Il baptisera ce phénomène du nom grec de l'ambre jaune, "elektron".

Par la suite, ce mot servira à nommer l'électricité ou tous les phénomènes ayant un rapport. Par la suite, les découvertes se sont succédées lentement jusqu'au XVIIIe siècle. On pourra citer la première machine à électricité statique d'Otto Von Guericke(1602-1686), constitué d'un simple globe de soufre, ou la classification des corps en fonction de leur comportement, idio-électriques(isolants), et anélectriques(conducteurs), par William Gilbert(1544-1600), et est le premier à relier électricité et magnétisme.

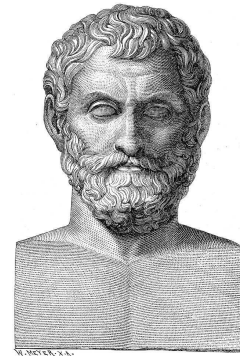


FIGURE 1.2 – Thales

Dès 1709 les découvertes s'accélérent. Francis Hawksbee remplace le globe de soufre de Von Guericke par un cylindre en verre en 1709, et Stephen Grey découvre par hasard que les charges produites par la machine de Hawksbee se déplacent vers le bouchon. Cela amènera, plus tard à la découverte de la portée infinie des charges électriques le long d'un conducteur, avec l'aide de Charles François de Cisternay du Fay. Il découvre aussi que le corps humain est conducteur, et définit deux types d'électricité : la "résineuse"(quand de la résine est frottée) et la "vitreuse"(quand du verre est frotté), qui prépare la découverte de la charge de signes opposés. il créera aussi le premier electroscope connu.

De nombreuses autres découvertes ont été faites durant ce siècle, comme les travaux de Benjamin Franklin (1706-1790) avec la mythique expérience où ce scientifique a sorti un cerf-volant sous un orage(à ne pas reproduire) pour savoir "si les nuages d'où jaillit



FIGURE 1.3 – Franklin

la foudre sont électrisés ou non”, ce qui mènera à la découverte du paratonnerre. Plus tard, Alessandro Volta(1745-1827) multiplie les découvertes dans le domaine de l’électricité. Il crée et améliore de nombreux appareils de mesure électrique, met au point l’électrophore, capable d’accumuler de grandes charges électriques positives, et crée la première pile. Charles de Coulomb(1736-1806) établira en 1785 la loi homonyme, quantifiant la force électrostatique. Elle définit la force qu’exercent deux charges l’une sur l’autre ( $\vec{F}_{1/2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{\|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\|^3}$ , où  $q_1$  et  $q_2$  sont en C,  $\epsilon_0$  en  $F.m^{-1}$  et  $\vec{r}_1$  et  $\vec{r}_2$  sont des points). Elle est attractive si les charges sont de signe contraire, et répulsive si les charges sont de même signe. Au XIXe siècle, la recherche s’accélère encore. Au début du siècle, sir Humphrey Davy(1778-1829) étudie et met au point la première pile à combustible. Sous la férule de Faraday, il créera aussi la première source de lumière électrique, l’arc électrique. En même temps, Georg Simon Ohm(1787-1854), découvre la résistance des conducteurs et étudie les propriétés quantitatives des courants électriques, dont il formule les lois fondamentales. La loi d’Ohm est une relation simple entre l’intensité, la tension, et la résistance  $I = U \times R$ , avec  $I$  pour l’intensité, en ampères,  $U$  pour la tension, en volts, et  $R$  pour la résistance, en Ohms.

En découvrant cette propriété, il affine la notion d’électricité suffisamment pour la rendre utilisable, et ce sera sur cet axe que la recherche scientifique sera axée dès le second quart du siècle.



FIGURE 1.4 – Ohm

## 1.2 Avancées technologiques et Utilisation

## Chapitre 2

# Raisons de la transmission de l'électricité par des solutions non câblées

### 2.1 –TODO–

# Chapitre 3

## Les technologies de transmissions d'électricité : câblées et sans-fil

### 3.1 Présentation des technologies présentes

#### 3.1.1 Solution majoritaire actuelle : Les technologies câblées

La solution de transmission d'électricité la plus utilisée au monde est sans contestation possible le câble électrique, ceci étant dû à un faible coût (jusqu'à 1\$ le mètre), son très haut rendement puisque celui-ci avoisine les 100% sur les distances courtes avec de faibles puissances. En plus d'être simple, elle n'est pas lourde en terme d'installation puisque les câbles peuvent être facilement mis dans les murs à la construction d'un nouveau bâtiment, être mis dans des gaines si l'on veut en rajouter ensuite et plus simplement on peut utiliser le système des prises pour les appareils temporaires et ponctuels. Grâce à ses avantages incontestables elle est devenue le standard, mais ceci entraîne un problème non négligeable qu'est la densité importante des câbles électriques à proximité

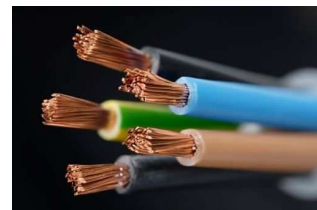


FIGURE 3.1 – Fils de cuivre



des appareils électroniques.

Les matériaux constituant les câbles électriques sont généralement du cuivre pour les longues distances, mais dans les circuits imprimés on peut utiliser l'or pour sa conductivité électrique immense, malgré son coût monstrueux de l'ordre de la dizaine de milliers d'euros le demi kilo. Voici ici un tableau qui récapitule la conductivité de divers métaux plus ou moins utilisés dans les réseaux câblés.

Matériel	Resistivité électrique en $n\Omega.m$	Prix au Kilo
Cuivre	16.78	1.08 €
Or	22.14	29878 €
Fer	96.1	(Minerai de fer) 0.07 €
Argent	15.87	402 €

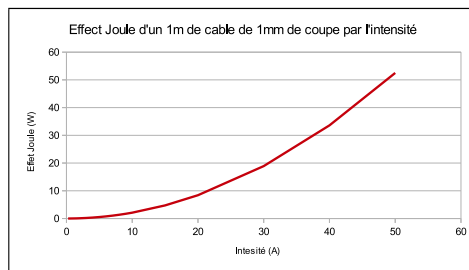


FIGURE 3.2 – L'effet joule

de  $P = 1^2 \times 0.02 = 0.02W$ .

Néanmoins d'autres problèmes peuvent survenir dans le cas d'une utilisation domestique, comme la profusion de câbles qui génèrent des nuisances esthétiques et des nuisances magnétiques générées par les câbles nombreux qui subissent le phénomène de diaphonie (ou crosstalk)[6], qui est une interférence entre les signaux passant par un câble dans un câble proche. C'est d'ailleurs pour cette raison que lorsque les signaux transmis sont importants et ne doivent pas être corrompus on utilise des câbles torsadés qui limitent le phénomène. La

Un effet négatif important produit par des câbles est l'effet Joule, exprimé dans le cadre d'application de la loi d'Ohm par la formule  $P = I^2 \times R$ [4] où  $R$  est la résistance est liée à la résistivité ( $\rho$ ) par la formule  $R = \rho \frac{\ell}{A}$ [5] dans laquelle  $\ell$  est la longueur et  $A$  est la surface de coupe en  $m^2$ . D'où la résistance d'un câble de 1m de long et de 1mm de diamètre est  $17 \times 10^{-9} \times \frac{1}{\pi(0.5 \times 10^{-3})^2} = 0.021\Omega$  et donc l'effet joule produit dans le cas d'un courant de 1A est

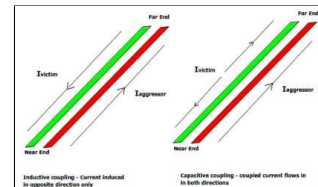


FIGURE 3.3 – Diaphonie

problematique du transport d'objets electriques de plus en plus consommateurs mais qui se veulent autonomes se pose , ou l'on est obligé de se separer d'eux pour les recharger ceic emepechant de benficier des avantages majeurs de ces objets autonomes , avec comme exemple le cas des telephones portables , ou la problematique plus importante du rehchargement des voitures electriques qui est long , et qu'il ne faut pas oublier de brancher un cable sinon rien n'occure. Les cables electriques que nous utilisons donc depuis la création de l'electricité ne sont plus adapté a un monde qui se veut de plus en plus liberé de toute les contraintes et de s'affranchir des contraintes liés au tehcnologies filiares , avec comme exemple le devloppement des telephones portables ou de la wifi pour pallier la dependance cablée de l'ethernet.

### 3.1.2 Une solution IPTS efficace : Le systeme de couplage magnetique par resonance (CMRS) [1]

Le MIT , par l'equipe de Marin Soljačić , a developé en 2007 une technologie inductive utilisant le meme pricipe que les transformateurs electriques ou les brosses a dent electriques. Mais en utilisant des variations de cette tehcnologies cette equipe du MIT a reussi a transmettre de l'energie a une television située de l'autre coté de la piece , assez pour l'alimenter. Mais le probleme de cette technologie est qu'elle est extremement dépendante de l'environnement , une petite variation tel le passage d'un etre humain , un autre champ magnetique qui perturbe les syteme ou une variation de la temperature ou de l'humidité peut invalider l'experience. Cette technologie a aussi un inconvénient majeur, partagé par tout les systemes inducifs de tranferts d'energie , plus souvent abregé en IPTS , qui est le rendement

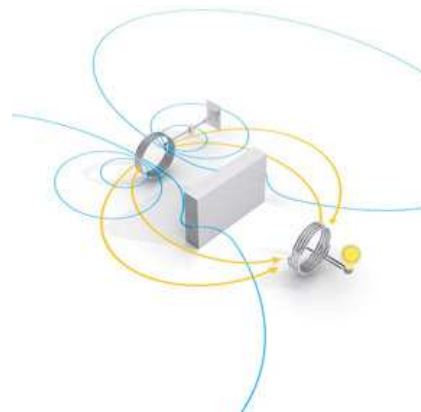


FIGURE 3.4 – Diagramme

grandement inférieur à un câble électrique déployé sur la même distance. Ceci est dû à la nature même de la technologie qui est un champ magnétique non ou peu dirigé contrairement à un câble électrique où les électrons n'ont qu'une seule direction possible pour traverser d'un bout à l'autre du système de transmission d'électricité. Néanmoins cette technologie est basée sur la maximisation du rendement possible par un système IPTS.

La dépendance aux conditions est du au système même : il exploite la résonance magnétique des matériaux, c'est à dire la capacité du matériau à produire une réaction énergétique lorsque'il est stimulé par un champ magnétique particulier, et ce "champ magnétique de résonance" est affecté par la température, et il est déformé par les obstacles tel qu'un humain. Cette dépendance extrême au champ magnétique est due au très haut facteur de qualité du système technique utilisés dans l'expérience du MIT, qui ne laisse aucune marge d'erreur dans les fréquences. De plus la mise en place des bobines utilisés pour transmettre de l'électricité demande des réglages plutôt complexes ou les bobines doivent être accordées pour réagir au bon champ magnétique.

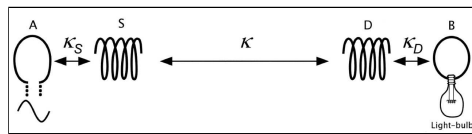


FIGURE 3.5 – Schema de montage

être positionnée de telle manière qu'elle n'interfère pas avec la bobine D, l'influence de B sur S étant minimale.

Cette technologie ne présente d'ailleurs que très peu de danger [3] sur l'être humain, étant donné que les champs magnétiques n'interagissent pratiquement pas avec les êtres vivants, de même que le reste de l'environnement d'où la ligne de vue entre les bobines S et D n'est pas nécessaire. D'après Marin Soljačić cette technologie a du potentiel puisque il a créé une compagnie, WiTricity, pour promulguer sa découverte et il croit que cette technologie pourrait être largement utilisée dans le cas de transfert de petites quantités d'énergie comme recharger des téléphones. 7 ans après cette technologie ne s'est pas énormément démocratisée même si en 2011 Toyota a investi dans cette compagnie.

Dans tout IPTS le principe fondamentale est identique : Le courant traversant une bobine de fil induit un courant proportionnel dans une autre bobine. Dans la technologie ici présentée ces deux bobines doivent être alignées coaxialement. L'entrée et la sortie est effectuée via des boucles, et celle d'entrée A doit

### 3.1.3 Une solution IPTS assez fiable : Une transmission utilisant des {Dipole coils}[2]

Contrairement au CMRS ou l'on pensait principalement à l'efficacité et au redement, faisant des bobines dépendantes des conditions et plus adapté à transmettre des petites quantités d'énergie, étant donné la complexité de la chose, les chercheurs du KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology) en partenariat avec le département nucléaire de Corée ont développé une technologie basée sur des {Dipole coils} qui est presque indépendante des conditions, grâce à un facteur qualité très bas ( $\sim 100$ , contrairement au CMRS qui avoisinait les 2000) et une technologie plus simple à mettre en œuvre, puisque la réponse n'est pas liée à des fréquences très spécifiques, mais un peu plus larges.

Cette technologie, étant soutenue par le département nucléaire, à pour vocation de servir d'alimentation de secours dans le cadre de centrales nucléaires, où le CMRS hyper-sensible ne convient pas, se veut à transmettre des quantités d'énergie largement supérieures à celle prévue par Marin Soljačić. Pour pouvoir achever cet aspect ils ont recouru à des fréquences largement inférieures au MIT qui utilisait du 9.9 MHz alors que le KAIST utilise des fréquences de 20 kHz, qui est la raison de la baisse du facteur qualité.

Ici le système est constitué de deux barres de ferrite parallèles sur lesquelles sont enroulés 30 fois un fil, cette configuration étant due au peu de place disponible dans les centrales nucléaires et prends moins de place que le CMRS. Ces barres ont des dimensions modulables proportionnellement, tout comme le nombre de tours  $N$ . L'entrée est gérée par un {Power Inverter} et la sortie est presque utilisable telle que comme montré par le schéma électrique qui suit.

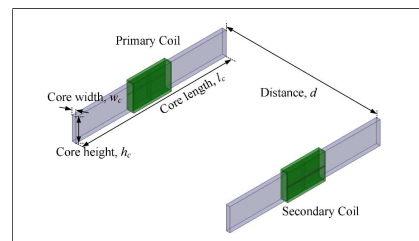


FIGURE 3.6 – Montage

Cette technologie est d'ailleurs beaucoup plus efficace lorsque l'on utilise de grandes quantités d'énergie, étant donné que la puissance fournie n'est pas proportionnelle à l'intensité du système, mais accroît de plus en plus, comme montré par la figure 3.8. Ceci encore découle de la différence d'applications entre les deux technologies sans fils que nous avons présenté.

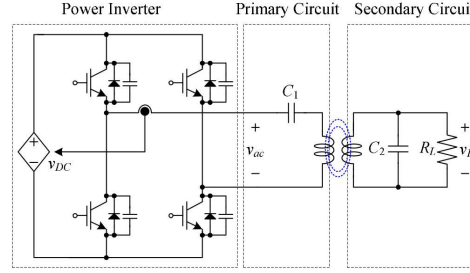


FIGURE 3.7 – Diagramme

Contrairement au CMRS qui a eu le temps de se développer, cette technologie ayant été présentée en 2013, elle n'a pas pu être exploitée ni testée, et par conséquent nous ne pouvons comparer complètement objectivement ces deux technologies.

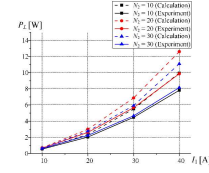


FIGURE 3.8 – Puissance par intensité

## 3.2 Avantages et limitations des technologies étudiées

Les différentes technologies répondent à une même problématique, transférer de l'énergie mais les deux solutions sans fil que nous avons étudiées essaient de pallier le problème que les câbles électriques rencontrent de plus en plus, vu leur prolifération active dans les milieux où l'électricité est présente. Ils ont aussi les inconvénients de subir l'effet Joule qui peut devenir assez important impactant aussi le rendement des câbles qui réduisent avec la chaleur, qui sinon est proche de 100%.

Comme technologie sans fil, le CMRS répond à cette limitation du nombre de câbles importants en les supprimant presque totalement, excluant les entrées et ceux constituant le système et la sortie, étant invisibles à l'utilisateur. Mais cet aspect important est en partie éclipsé par le rendement inférieur de moitié aux câbles, et la dépendance du système aux conditions de l'environnement, même si son créateur pense que cet aspect est négligeable puisque il a l'intention de produire sa technologie à grande échelle.

L'autre systeme IPTS que nous avons étudié est la technologie du KAIST qui présente elle l'avantage par rapport au CMRS d'une dépendance moindre au conditions de l'environnement au détriment d'un redement encore inférieur , mais cette technologie n'a pas encore pu etre testée dû a sa decouverte tres recente , il y a seulement 1 an.

Ces deux systemes ont l'avantage de pouvoir etre actif sans ligne de vue , tant que aucun matériaux alterant le champ magnetique produit n'est situé entre l'emteur et le recepteur , conduisant à une simplification possible du systeme electrique domestique, où les prises murales aurait disparues et tout les appareils electriques que nous posedons actuellement seront parfaitement mobiles à l'interieur de notre espace domestique.

### **3.3 Technologies alternatives pour transmetre de l'energie [7]**

Contrairement a transmettre directement de l'electricité directement , il est possible de transmettre d'autres formes d'energie tel que les lasers , étant possiblement plus efficace , quoique la conversion electricité/lumierere/électricité est surement source de nombreuses pertes , mais contrairement aux champs magnétiques aggisant sur une distance de quelques mètres , on peut transmettre des lasers sans trop de problemes sur quelques kilometres , si toutefois il y a ligne de vue ce qui peut etre difficile parfois. A la place des lasers on peut aussi utiliser des micro-ondes , ceci traversant mieux les obstacles semi opaques , au détriment d'une portée moindre , de l'orde de la centaine de metre pour que le systeme reste d'une taille pratique. Les conversions des lasers et des micros ondes sont de 50% , mais les lasers peuvent etre totalement bloqués par la pluie ou le brouillard , mais ne subissent pas d'interferences d'autre systemes electro-magnetiques.

# Bibliographie

- [1] MIT, *Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances*, 2007.
- [2] KAIST, *7m-off-Long-Distance Extremely Loosely Coupled Inductive Power Transfer Systems Using Dipole Coils*, 2014.
- [3] Wikipedia, *Resonant inductive coupling*.
- [4] Wikipedia, *Joule Heating*.
- [5] Wikipedia, *Electrical resistance and conductance*.
- [6] Wikipedia, *Crosstalk*.
- [7] Wikipedia, *Wireless Power*.