



# Recharge sans fil des téléphones mobiles

Science physique pour l'ingénieur

AHAFHAF Amine  
EL ALAOUI Abderazak  
EL JALOULI Marouane  
MATERRE Damien  
OBDAM Guillaume  
FIPA 17 P1G2  
**10 Mars 2014**



## Table des matières

Table des illustrations.....	3
Introduction.....	5
I. Historique de la transmission d'énergie.....	6
II. La réponse à un besoin.....	8
III. Sociétés, entreprises et consortiums .....	9
IV. Rappel sur l'électromagnétisme.....	11
1. Champs d'induction magnétique <b>B</b> .....	11
a. Définition .....	11
b. Cas du fil de longueur infinie .....	11
c. Cas d'une spire circulaire : calcul sur l'axe de la spire.....	12
2. Champ d'excitation magnétique <b>H</b> .....	13
a. Définition .....	13
3. Théorème d'ampère.....	13
a. Exemple d'application .....	14
4. Flux magnétique .....	14
a. Définition .....	14
b. Cas d'une spire inclinée.....	14
5. La loi de Lenz .....	14
V. Transfert d'énergie.....	15
1. Introduction.....	15
2. L'énergie consommée .....	15
3. Principe de fonctionnement .....	16
4. Le facteur de couplage .....	17
5. Exigences électriques de la bobine du secondaire.....	19
a. Le blindage .....	19
b. Calibre du fil.....	20
c. Nombre de tour .....	20
d. Mesure de la bobine Rx.....	21
e. Réglage de la bobine Rx.....	21
6. Le facteur de qualité.....	22
7. Présentation d'une ligne de charge d'une batterie de téléphone portable : .....	22
8. Le facteur de pertes minimales .....	23
9. Le rendement .....	24

VI.	Schéma bloc du système complet .....	26
1.	Schéma bloc général .....	26
a.	La partie émettrice .....	26
b.	La partie réceptrice .....	26
2.	Schéma de chaque bloc.....	27
a.	Le convertisseur AC/DC.....	27
b.	Le Pilote .....	36
a.	Le capteur V/I .....	38
b.	Le contrôleur de l'émetteur .....	39
c.	Le redresseur .....	40
d.	Le conditionneur .....	40
e.	La communication .....	41
f.	Le contrôleur du récepteur .....	41
VII.	Explication des fonctions annexes .....	42
1.	Communication base-téléphone .....	42
2.	Gestion de la charge .....	44
1.	Rappels sur la batterie lithium-ion .....	44
VIII.	Schéma d'une base de recharge sans fil .....	46
IX.	L'intérêt de cette technologie .....	46
1.	Avantage et inconvénients .....	46
a.	Avantages : .....	46
b.	Inconvénients .....	46
2.	Aspect marketing.....	46
X.	L'avenir de cette technologie .....	47
1.	Le domaine automobile.....	47
2.	Les produits grand public .....	48
3.	Le milieu médical.....	49
4.	Le domaine spatial.....	49
XI.	Conclusion .....	50
XII.	Annexe.....	51
XIII.	Référence .....	56

## Table des illustrations

Figure 1 : Expérience de Hertz avec à gauche le l'oscillateur émettant. ....	6
Figure 2 : Transformateur de Pikes Peak.....	7
Figure 3 : Bobines utilisées par le MIT pour tester la résonance magnétique.....	7
Figure 4 : Des points de recharge dans un café .....	8
Figure 5 : Les membres liés à la Wireless Power Consortium .....	9
Figure 6: principe du transfert d'énergie sans fil .....	15
Figure 7: Transformateur traditionnel .....	16
Figure 8 : Couplage magnétique pour une transmission de puissance.....	17
Figure 9: Variation du facteur de couplage.....	18
Figure 10: Transformateur avec bobines de fuite et de magnétisation.....	18
Figure 11: Transformateur avec un noyau d'air .....	19
Figure 12 : concentration du champ magnétique entre les deux bobines .....	20
Figure 13: Configuration pour mesurer l'inductance $L_s'$ de la bobine Rx .....	21
Figure 14: Circuit résonnant .....	22
Figure 15: Ligne de charge d'une batterie.....	23
Figure 16: Facteur de pertes suivant le produit du facteur de qualité et de couplage.....	24
Figure 17: Rendement pour un transfert d'énergie sans fil suivant la distance entre les deux bobines .....	24
Figure 18: Schéma bloc du système complet.....	26
Figure 19: Cahier des charges.....	29
Figure 20: Schéma du redressement.....	30
Figure 21: Signal d'entrée.....	30
Figure 22: Signal redressé .....	30
Figure 23: Signal lissé .....	31
Figure 24: Schéma du hacheur Buck .....	32
Figure 25: Représentation du MLI.....	33
Figure 26: Tension de sortie du montage.....	33
Figure 27: Récapitulatif du dimensionnement.....	34
Figure 28: Schéma du montage complet.....	34
Figure 29 : Structure en demi-pont.....	36
Figure 30 : Exemple de la partie pilote.....	36
Figure 31 : Oscillogramme de la tension aux bornes de l'inductance $L_{load}$ .....	37
Figure 32 : Montage mesurant le courant .....	38
Figure 33 : Schéma bloc du BQ500210 de Texas Instruments .....	39
Figure 34 : Schéma simple d'un Hot-Swap.....	40
Figure 35 : Schématique d'une variation de charge résistive .....	41
Figure 36 : Schématique d'une variation de charge capacitive .....	41
Figure 37: Comparaison de différentes technologies de batterie suivant leurs densités massique ....	44
Figure 38: Comparatif des différentes technologies de batterie .....	44
Figure 39: La batterie d'un Iphone5 .....	45
Figure 40: Gestion de la charge d'une batterie lithium-polymère .....	45
Figure 41: Image de synthèse.....	49
Figure 42: Schéma du hacheur .....	51

---

Figure 43: Représentation des deux séquences de fonctionnement.....	51
Figure 44: Commutation courant / tension.....	51
Figure 45: Schéma complet du hacheur .....	52
Figure 46: Chronogrammes du fonctionnement pour une période.....	53
Figure 47: représentation de l'ondulation suivant $\alpha$ .....	54

## Introduction

Dans le cadre de notre formation, nous avons dû réaliser un travail de recherche en groupe portant sur une technologie afin d'expliquer son fonctionnement, son utilisation, son histoire et son avenir.

Notre sujet est la recharge sans fil ou sans contact des téléphones portables, son fonctionnement est simple, lorsque nous désirons charger la batterie de son terminal, il suffit de le poser sur une base adaptée pour pouvoir lancer le cycle de recharge, et d'enlever le téléphone pour pouvoir l'interrompre.

Dans une première partie, nous allons remonter le temps pour découvrir les origines de cette technologie, en effet le principe de transmission d'énergie remonte au XIX<sup>ème</sup> siècle.

Ensuite nous exposerons en quoi la recharge des téléphones sans fil répond à un besoin de la société, suivi d'une présentation des entreprises, et des consortiums œuvrant dans cette technologie.

Nous ferons un rappel sur les bases de l'électromagnétisme, pour ensuite rentrer dans le vif du sujet, le transfert d'énergie. Cette partie traitera de beaucoup de notions à prendre en compte lors d'un design d'un chargeur sans fil, comme :

- L'énergie consommée
- Le principe de fonctionnement du point de vue magnétique
- Le facteur de qualité
- Le facteur de couplage
- Les pertes et le rendement.

Par la suite nous partirons d'un diagramme du système complet pour ensuite associer une partie de schéma à chaque bloc de celui-ci, et le complexifier au fur et à mesure pour obtenir un schéma final proche d'un système fonctionnel destiné au grand public.

Nous expliquerons aussi des fonctionnalités annexes à la recharge sans fil permettant un fonctionnement intuitif par l'utilisateur, comme la communication entre la base de charge et le téléphone, la gestion de la régulation de tension et la gestion de la charge de la batterie.

Après avoir développé ces aspects nous pourrons donc exposer les avantages et les inconvénients de cette technologie et nous nous projeterons sur une future utilisation de cette dernière dans d'autre domaine comme l'automobile, le médical ou encore le spatial.

## I. Historique de la transmission d'énergie

L'étude de l'électromagnétisme commence en 1820 quand *Hans Christian Oersted* découvre la relation entre l'électricité et le magnétisme, des lois seront décrites par *André-Marie Ampère*, *Michael Faraday*, *Jean-Baptiste Biot* et *Félix Savart*, et mises en forme par *James Clerk Maxwell*.<sup>1</sup>

Les prémices de la transmission sans fils sont attribuées à *Heinrich Hertz* grâce à ses expériences entre 1887 et 1888. Il cherchait la relation entre l'oscillation des charges et la théorie des équations électromagnétiques établie par *Maxwell*. Afin de prouver l'existence de cette corrélation, il construisit un oscillateur produisant des étincelles de manière régulière.

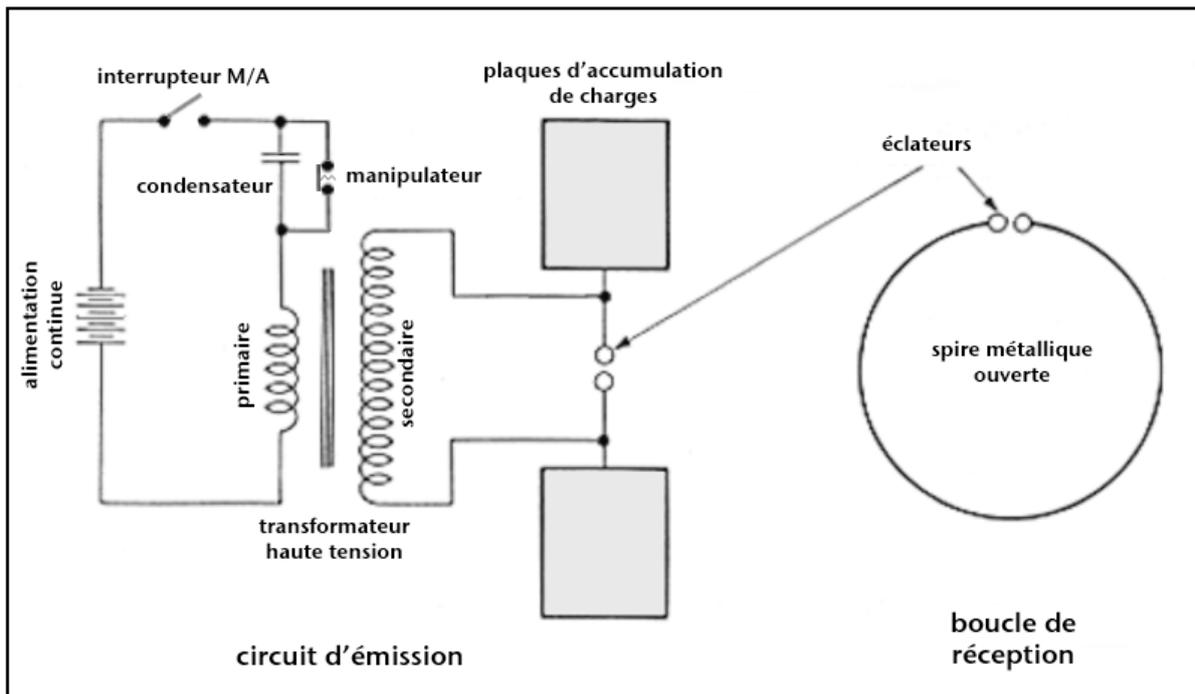


Figure 1 : Expérience de Hertz avec à gauche le l'oscillateur émettant.<sup>2</sup>

Pour vérifier la présence d'un champ électromagnétique créée par l'étincelle, il utilisa un arc en cuivre avec un entrefer. Il observa que l'étincelle produit par l'oscillateur induisait une étincelle dans l'entrefer de l'arc en cuivre. L'expérience de *Hertz* apporta une preuve irréfutable sur l'existence d'émission et de réception d'ondes électromagnétiques.<sup>3</sup>

L'expérience de *Hertz* sera utile à *Guglielmo Marconi* qui utilisera les ondes pour un usage commercial, à savoir la transmission radio.

Le concept de transporter l'énergie sans l'utilisation de câble, vient de *Nikola Tesla* en 1899. Il construisit à Pikes Peak un transformateur très haute tension terminé par une boule de cuivre à 37 mètres du sol. Lors des essais, il réussit à provoquer des étincelles lorsque des objets métalliques étaient posés au sol, puis par la suite réussit à allumer des lampes à distance.<sup>4</sup>



Figure 2 : Transformateur de Pikes Peak<sup>5</sup>

En 1975, des expériences pour transmettre de la puissance sans fils sont réalisées par la NASA afin de l'utiliser sur une station solaire orbitale. Un essai a été fait par la NASA JPL Goldstone avec une puissance de 34kW, sur une distance de 1.55 kilomètres, en utilisant les micro-ondes à 2.45GHz. Le résultat fut couronné de succès avec un rendement total de 54%.<sup>6</sup>

Une découverte en 2006 a permis d'améliorer le rendement afin que la transmission d'énergie sans fil soit attirante. Marin Soljacic un professeur assistant du département physique et du laboratoire de recherche du *Massachusetts Institute of Technology* ainsi que ces collègues ont pu allumer une ampoule de 60 watts à 2 mètres de distance avec un rendement total de 40%. Cette amélioration est l'utilisation de la résonance magnétique et le système se nomme WiTricity. Dans l'exemple de l'ampoule, les bobines ont été conçues pour résonner à 10MHz et ainsi transférer le maximum d'énergie. Le fait d'utiliser la résonance magnétique permet d'avoir un rendement correct à des fréquences inférieures aux gigahertz pour une application commerciale, et permet de ne pas interférer avec d'autres appareils fonctionnant sur d'autres fréquences.<sup>7</sup>

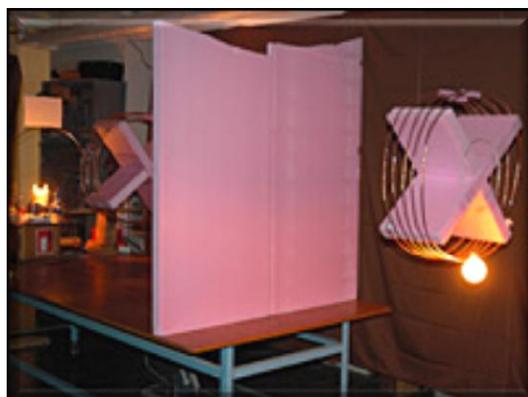


Figure 3 : Bobines utilisées par le MIT pour tester la résonance magnétique.<sup>8</sup>

## II. La réponse à un besoin

Les Smartphones sont en train de changer nos manières de vivre ainsi que nos vies. À chaque nouveau modèle, la vitesse des processeurs est augmentée, de nouvelles fonctionnalités et de nouveaux programmes s'ajoutent. Malgré tous ces ajouts les batteries n'ont que très peu évoluées, l'utilisateur doit recharger souvent son téléphone portable s'il l'utilise de façon intensive (vidéos, jeux).

Pour rendre la recharge de son mobile moins contraignante les constructeurs misent sur la recharge sans fil. Le principe est simple, lorsque l'on pose un téléphone sur un chargeur, s'apparentant à une surface plane quelconque, le téléphone se recharge sans l'utilisation d'un connecteur. Lorsque l'on retire le téléphone, la recharge s'arrête.

Cette technologie est aussi implémentée dans des restaurants et des cafés, permettant aux consommateurs de pouvoir recharger leur téléphone de manière transparente.



Figure 4 : Des points de recharge dans un café<sup>9</sup>

### III. Sociétés, entreprises et consortiums

La recharge sans fil requiert une norme pour que celle-ci soit attrayante pour le consommateur, en effet il faut que le terminal de recharge soit conçu pour que celui-ci dialogue et recharge plusieurs types de téléphone. Si une base sans fil ne pouvait charger qu'un seul type de téléphone, l'intérêt par rapport à un chargeur filaire serait limité. Le fait de normaliser la recharge peut s'apparenter au fait de normaliser les communications sans fil, comme le Wifi et le Bluetooth.

Plusieurs consortiums ont donc vu le jour pour imposer leur norme. Il existe le *Wireless Power Consortium* (WPC) avec leur norme *Qi* (à prononcer « Chi »), l'*Alliance for Wireless Power* (A4WP) avec *WiPower*, et la *Power Matters Alliance* (PMA).

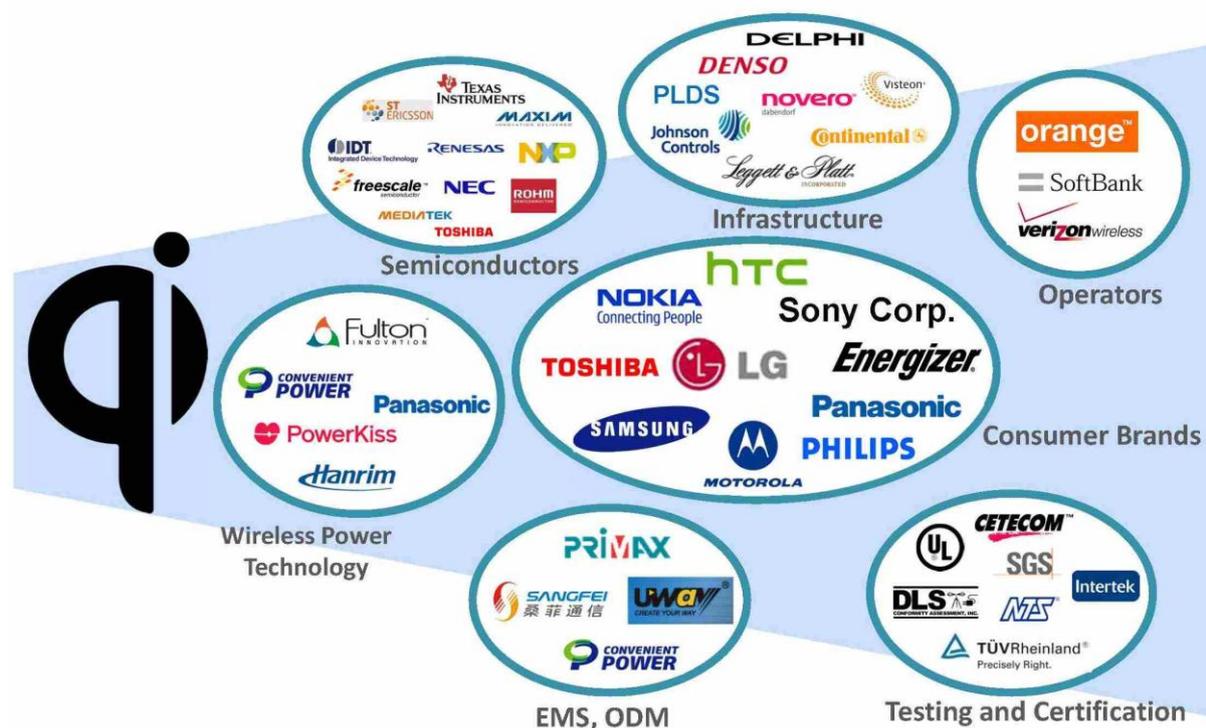


Figure 5 : Les membres liés à la Wireless Power Consortium <sup>10</sup>

Récemment, la *Power Matters Alliance* et l'entreprise *Witricity* spécialisée dans la transmission d'énergie par résonance magnétique on rejoint l'*Alliance for Wireless Power* pour une nouvelle norme appelée *Rezence*. Ce partenariat et cette norme tente de contrer le monopôle du *Wireless Power Consortium* avec environs 200 adhérents et une grande présence sur de nombreux téléphones portables. <sup>11 12 13</sup>

Cet accord prévoit une entente sur les spécifications de cette norme. En effet la *Power Matters Alliance* adoptera la spécification de l'*Alliance for Wireless Power* sur la résonance magnétique, et l'*A4WP* adoptera les spécifications de la transmission inductive de la *PMA*. Cependant une collaboration sera de mise sur « l'open network API ». <sup>14</sup>

Voici un tableau récapitulatif des 3 consortiums présents :

Consortium	Norme associée	Membres
<b><i>Wireless Power Consortium</i></b>	qi	200 membres dont : <sup>15</sup> Des équipementiers automobiles : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Continental Automotive</li> <li>• Delphi Automotive Systems</li> </ul> Des fabricants de batteries : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energizer</li> <li>• Panasonic</li> </ul> Des fabricants de semi-conducteurs : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Texas Instruments</li> <li>• NXP</li> <li>• Maxim</li> </ul> Des fabricants d'inductances : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Würth Electronik</li> <li>• TDK</li> </ul> Des fabricants de téléphones : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Samsung</li> <li>• LG</li> <li>• Nokia</li> </ul>
<b><i>l'Alliance for Wireless Power</i></b>	WiPower Rezence	80 membres : <sup>16</sup> Des équipementiers automobiles : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Novero</li> <li>• Delphi Automotive Systems</li> </ul> Des fabricants de semi-conducteurs : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fairchild Semiconductor</li> <li>• Intel</li> <li>• On Semiconductor</li> </ul> Des fabricants de téléphones, Et un fabricant de chargeur sans-fil : <ul style="list-style-type: none"> <li>• WiTricity Corp</li> </ul>
<b><i>Power Matters Alliance</i></b>		109 membres : <sup>17</sup> Des équipementiers automobiles : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Continental Automotive</li> <li>• Delphi Automotive Systems</li> </ul> Des fabricants de batteries : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Duracell Powermat</li> <li>• Panasonic</li> </ul> Des fabricants de semi-conducteurs : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fairchild Semiconductor</li> <li>• NXP</li> <li>• Freescale Semiconductor Inc</li> </ul>

## IV. Rappel sur l'électromagnétisme<sup>18</sup>

### 1. Champs d'induction magnétique $\vec{B}$

#### a. Définition

Le champ d'induction magnétique  $\vec{B}$  traduit l'effet du déplacement des charges électriques. Si un courant constant traverse un conducteur électrique de longueur élémentaire  $d\vec{l}$ , on écrit localement la loi de Biot et Savart :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \wedge \vec{u}}{4\pi r^2}$$

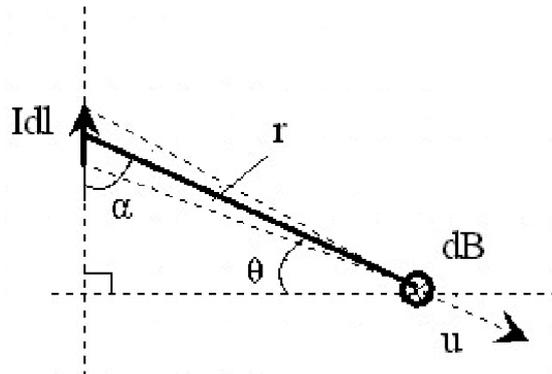
Avec :

$d\vec{l}$  : Longueur du circuit soumis au courant  $I$ , orienté dans le sens de  $I$ .

$r$  : Distance de l'élément  $d\vec{l}$  au point d'expression de l'induction  $d\vec{B}$ , portée par le vecteur  $\vec{u}$  (vecteur unité allant de  $d\vec{l}$  vers le point d'expression de  $d\vec{B}$ ).

$\mu_0$  : perméabilité magnétique du vide ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  U.S.I.).

L'induction s'exprime en Tesla.



#### b. Cas du fil de longueur infinie

Le calcul s'effectue en deux étapes. Nous allons d'abord calculer le champ créé par une portion de fil de longueur  $d\vec{l}$  puis nous intégrerons le long du fil pour obtenir le champ résultant  $B$ .

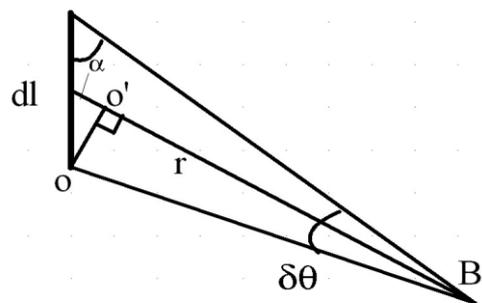
##### - Étude d'un élément $d\vec{l}$

On reprend la loi de Biot et Savart :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I d\vec{l} \wedge \vec{u}}{4\pi r^2}$$

Le calcul du produit vectoriel  $d\vec{l} \wedge \vec{u}$  fait apparaître l'angle  $\alpha$  entre le vecteur  $d\vec{l}$  et le vecteur  $\vec{u}$ .

Ainsi  $|d\vec{l} \wedge \vec{u}| = dl \cdot 1 \cdot \sin(\alpha)$ .



Si l'on observe le triangle formé par l'élément  $d\vec{l}$  et le point de mesure de  $d\vec{B}$  (Voir figure ci-contre), on obtient les relations suivantes :

$$OO' = \frac{dl}{2} \sin(\alpha) \quad OO' = r \sin \frac{d\theta}{2} \approx r \frac{d\theta}{2} \quad \text{soit} \quad \boxed{dl \cdot \sin \alpha = r \cdot d\theta}$$

Ainsi, le module du champ d'induction magnétique créé par l'élément  $d\vec{l}$  a pour expression :

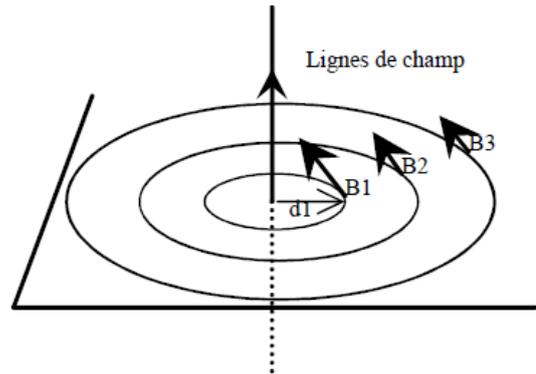
$dB = \frac{\mu_0 I d\theta}{4\pi r}$  Son orientation est donnée par la règle du tire-bouchon, ici rentrant dans la « feuille » (courant allant du bas vers le haut, champ à calculer à droite).

## - Étude pour un fil infini

Dans ce cas, il faut intégrer la valeur du champ dB sur un angle  $\theta$  allant de  $-\pi/2$  à  $+\pi/2$  :

$B = \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot r} d\theta$  Avec  $r = \frac{d}{\cos \theta}$  où  $d$  est la plus petite distance du point de mesure du fil.

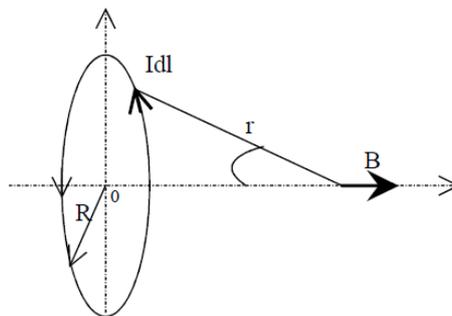
$$B = \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} \frac{\mu_0 \cdot I \cdot \cos(\theta)}{4\pi \cdot d} d\theta = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot d}$$



La valeur du champ diminue avec la distance. Par symétrie, les lignes de champ forment des cercles autour du fil.

## c. Cas d'une spire circulaire : calcul sur l'axe de la spire

La spire possède un rayon R. Le point de mesure est à une distance r de la spire, la spire est vue sous un angle  $\beta$  par rapport à son axe :



Avant d'effectuer le calcul, il faut remarquer que la résultante du champ  $\vec{B}$ , par symétrie, sera parallèle à l'axe de la spire. En effet, deux points de la spire diamétralement opposés ajoutent leur composante axiale mais compensent leur composante radiale.

Seule la composante sur l'axe est donc à calculer :

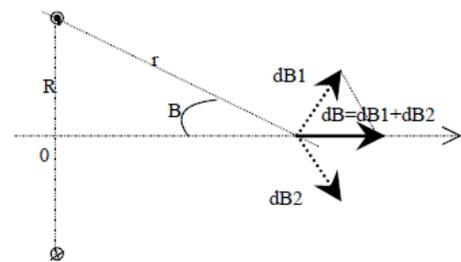
$$dB_x = |\vec{dB}| \cdot \sin(\beta)$$

$$dB_x = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot dl}{4\pi \cdot r^2} \cdot \sin(\beta) \quad \text{Or : } dl = r \cdot d\theta \text{ et } R = r \cdot \sin(\beta)$$

Avec  $\theta$  : angle de parcours de la spire vis-à-vis du point de calcul de B.

Donc :

$$B = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 \cdot I \cdot R^2}{4\pi \cdot r^3} \cdot d\theta = \frac{\mu_0 \cdot I}{2} \cdot \frac{R^2}{r^3}$$



Au centre de la spire le champ d'induction B a pour module :  $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2R}$ .

## 2. Champ d'excitation magnétique $\vec{H}$

### a. Définition

Le champ d'excitation  $\vec{H}$  rend compte de l'influence du milieu magnétique sur les grandeurs. Il s'exprime en Ampères par mètre. Dans le vide ou dans l'air : l'induction et l'excitation magnétique sont colinéaires :

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$$

Au sein d'un matériau magnétique : il en est de même. Mais on fait intervenir la perméabilité relative du matériau  $\mu_r$ :

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \vec{H}$$

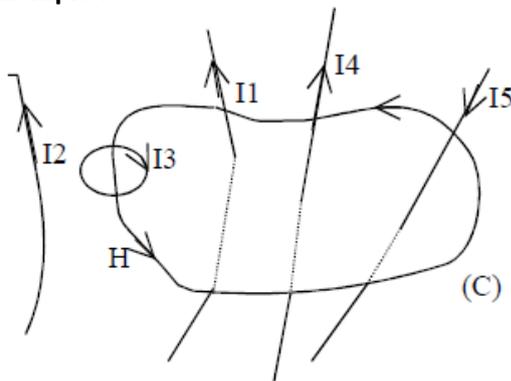
## 3. Théorème d'ampère

La circulation du vecteur  $\vec{H}$  le long d'une courbe fermée (C) quelconque est égale à la somme algébrique des courants traversant la surface s'appuyant sur le contour (C).

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_j \pm I_j$$

Le courant sera pris positivement s'il est dans le sens de la normale à la surface (règle du tire-bouchon par rapport au sens de parcours du contour C). Le courant sera pris négativement s'il est dans le sens contraire de la normale à la surface (règle du tire-bouchon par rapport au sens de parcours du contour C).

**Exemple :**

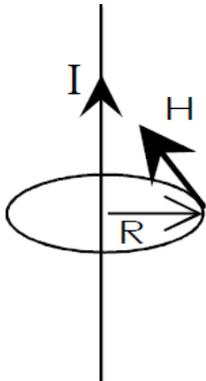


Le courant I2 n'intervient dans le calcul. L'application du théorème d'ampère donne :

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I1 - I3 + I4 - I5$$

## a. Exemple d'application

Cas du fil infini :



Les lignes de champ des vecteur  $\vec{B}$  et  $\vec{H}$  sont des cercles dont l'axe est le conducteur électrique. Nous allons prendre comme contour fermé une ligne de champ située à une distance R. Sur ce contour, le champ est constant.

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I = H \cdot 2\pi R$$

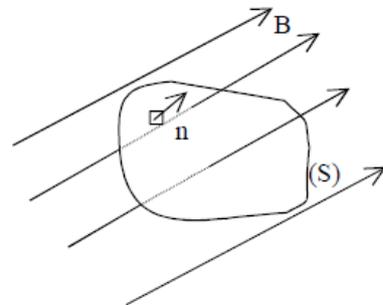
$$H = \frac{1}{2\pi R}$$

## 4. Flux magnétique

### a. Définition

Le flux du vecteur d'induction magnétique  $\vec{B}$  à travers une surface fermée (S) est définie par :

$$\phi_S = \iint_{(S)} \vec{B} \cdot \vec{n} \cdot dS$$



Avec  $\vec{n}$  vecteur normal à la surface S.

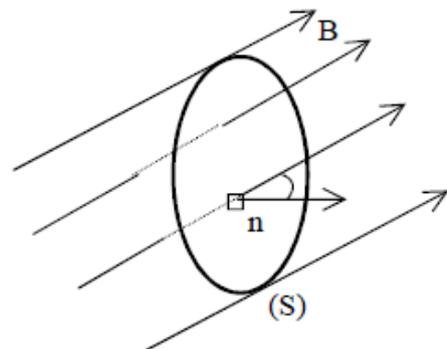
**Le flux magnétique s'exprime en Weber (Wb).**

### b. Cas d'une spire inclinée

On supposera le champ d'induction constant au travers de la spire S. On appellera  $\alpha$  l'angle entre la normale à la spire et le champ B :

$$\phi_S = \iint_{(S)} \vec{B} \cdot \vec{n} \cdot dS = \iint_S \vec{B} \cdot \cos \alpha \cdot dS = \vec{B} \cdot \cos \alpha \cdot \iint_S dS$$

$$\phi_S = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$



## 5. La loi de Lenz

La loi de Lenz permet d'établir une relation entre la tension (ou force électromotrice) et la variation du flux magnétique :

$$v = -n \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad \text{Avec } n \text{ le nombre de tour si c'est une bobine.}$$

## V. Transfert d'énergie<sup>19</sup>

### 1. Introduction

Les Smartphones sont en train de changer nos manières de vivre ainsi que nos vies. A chaque nouveau modèle, la vitesse des processeurs est augmentée, de nouvelles fonctionnalités et de nouveaux programmes s'ajoutent. Malgré tous ces ajouts les batteries n'ont que peu évoluées, l'utilisateur doit recharger très souvent son téléphone portable s'il l'utilise de façon intensive (vidéos, jeux, appels, SMS/MMS).

Afin de simplifier le processus de recharge (connexion/déconnexion des connectiques) il est possible d'utiliser un chargeur sans fil.

De nombreuses sociétés se sont intéressées à cette technologie, afin d'uniformiser les recherches et les travaux, elles se sont regroupées autour de la norme Qi.

La mise en œuvre de cette norme cherche à apporter des solutions à la transmission d'énergie sans fil.

Dans notre cas nous nous intéresserons à la solution pour recharger la batterie d'un téléphone portable.

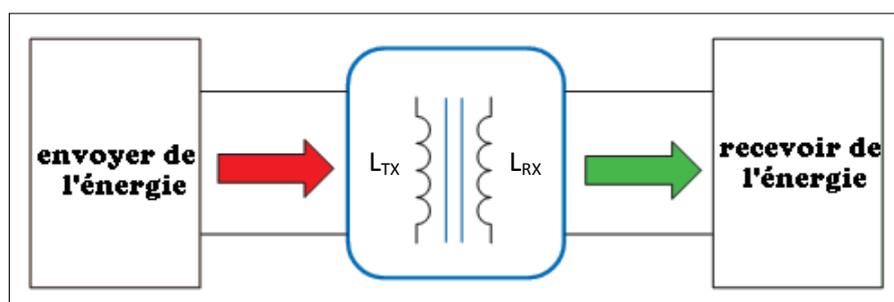


Figure 6: principe du transfert d'énergie sans fil

La figure 6 représente le transfert d'énergie par le biais d'un transformateur.

$L_{TX}$  : bobine primaire

$L_{RX}$  : bobine secondaire

Selon les besoins et les exigences du cahier des charges, la bobine RX peut prendre différentes géométries. La bobine secondaire est un élément clé dans un design réussi et efficace. Par la suite nous allons montrer les différentes étapes de sa réalisation.

### 2. L'énergie consommée<sup>20</sup>

L'énergie consommée par les chargeurs de batterie dépend de deux principaux paramètres, le rendement et la consommation du chargeur en veille.

- **La consommation en veille :**

De nombreuses personnes laissent leurs chargeurs de téléphones branchés même si aucun appareil n'y est pas connecté, pourtant ce dernier consomme de l'énergie. Bien souvent ces chargeurs consomment presque autant en une journée en étant à vide que pendant une période de charge d'un appareil.

Le WPC a pris conscience de ce phénomène et admettent que les futurs utilisateurs de la recharge sans fil laisseront leurs bases connectées à la prise. De ce fait ils prévoient de réduire au maximum la consommation en veille du chargeur sans fil à des fins économiques et écologiques.

A ce jour le WPC a développé un modèle éprouvé consommant une puissance de l'ordre du  $\mu\text{W}$  en veille.

- **Le rendement :**

Un chargeur sans fil possède les mêmes composants qu'un chargeur filaire lambda, on retrouve ainsi un adaptateur AC/DC et de l'électronique de puissance. La seule différence provient du « sans fil », à ce jour le rendement moyen pour le transfert d'énergie est de 50% ce qui est bien sûr, inférieur au rendement que pourrait proposer un transformateur traditionnel. Néanmoins ce rendement peut être augmenté mais implique, de la part des concepteurs, l'utilisation de composants de meilleure qualité et de ce fait une augmentation du prix pour l'utilisateur.

### 3. Principe de fonctionnement<sup>21 22</sup>

Le principe de base pour la recharge sans fil est représenté dans la figure 7 ci-dessous. Le système est composé de deux bobines, l'une émettrice l'autre réceptrice. Ces bobines sont couplées magnétiquement. Un courant alternatif dans la bobine émettrice va générer un champ magnétique.

Ce même champ va générer une tension aux bornes de la bobine réceptrice. Cette tension va pouvoir être utilisée pour recharger la batterie du téléphone.

Le rendement de la transmission de puissance dépend du coefficient de couplage ( $K$ ) entre les deux bobines ainsi que de leurs coefficients de qualités ( $Q$ ). Il dépend également de la forme des bobines ainsi que de l'angle qu'elles forment entre elles.

Pour le système électrique sans fil en champ « proche », tels que celui spécifié par la norme Qi, le comportement du transfert de puissance magnétique peut être modélisé par un simple transformateur.

Le transformateur traditionnel a généralement une structure physique simple avec deux enroulements autour d'un matériau de noyau qui est hautement perméable à l'air (figure 7).

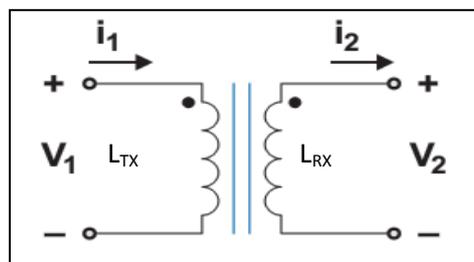


Figure 7: Transformateur traditionnel<sup>23</sup>

## 4. Le facteur de couplage

Etant donné que le transformateur traditionnel utilise un matériau pour transporter le flux magnétique, le couplage des deux bobines TX et RX se calcule au moyen d'un paramètre appelé le coefficient de couplage, noté  $K$ .

Ce facteur est compris entre 0 et 1 où 1 représente un couplage parfait entre les deux bobines, tous les flux magnétiques générés sont reçus par la bobine réceptrice. Il varie selon la distance entre les deux bobines ( $Z$ ) et le ratio du diamètre de la bobine réceptrice ( $D_2$ ) divisé par le diamètre de la bobine émettrice ( $D$ ).

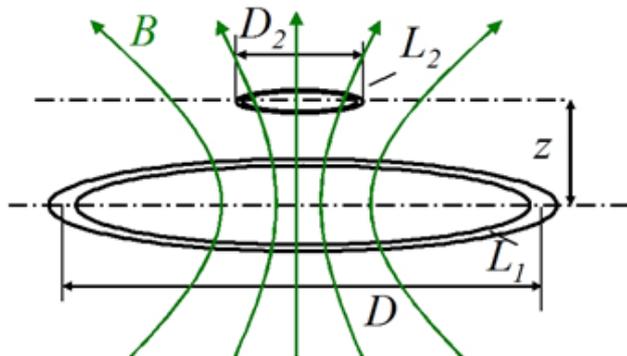


Figure 8 : Couplage magnétique pour une transmission de puissance<sup>24</sup>

Pour le calcul du coefficient de couplage entre les deux bobines, trois paramètres rentrent en jeu :

- $L_{11}$  : l'inductance de la bobine  $L_{TX}$
- $L_{22}$  : l'inductance de la bobine  $L_{RX}$
- $L_{12}$  : l'inductance mutuelle entre la bobine  $L_{TX}$  et  $L_{RX}$

Le coefficient de couplage est donné par la formule suivante :

$$K = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{22}L_{11}}}$$

Les tensions aux bornes de la bobine du primaire et secondaire sont données par les relations suivantes :

$$V_1 = L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt}$$

$$V_2 = L_{22} \frac{di_2}{dt} + L_{12} \frac{di_1}{dt}$$

Le facteur de couplage peut-être mesuré en fonction de la tension en boucle ouverte (à vide).

$u = \frac{U_2}{U_1} = k \cdot \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$ , ainsi si les deux bobines ont la même inductance, la tension en boucle ouverte sera égale au facteur de couplage.

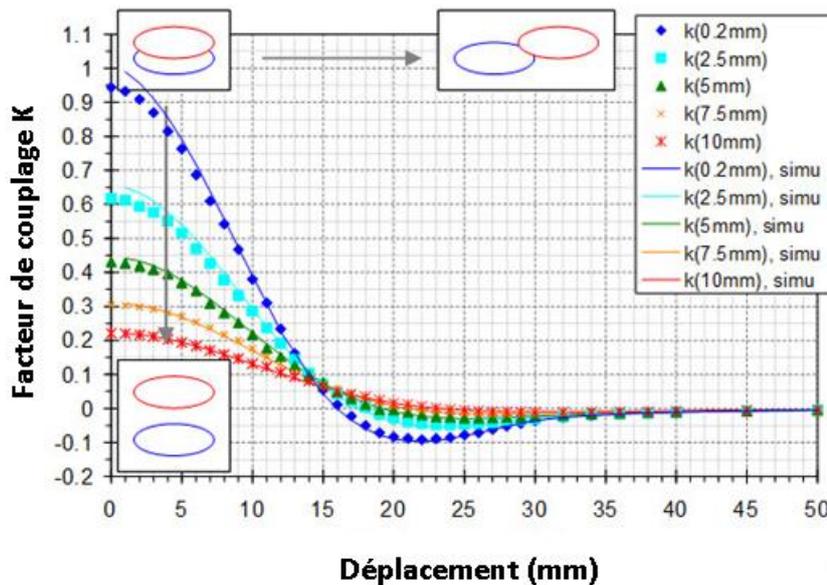


Figure 9: Variation du facteur de couplage<sup>25</sup>

La figure ci-dessus montre l'effet du facteur de couplage pour un arrangement idéal de bobines plates, avec un diamètre de 30mm. Cette figure montre le facteur de couplage calculé (représenté par les lignes) et mesuré (représenté par des points) pour des bobines placées parallèlement mais décalées horizontalement l'une de l'autre.

La figure 5 représente le schéma simplifié du transfert d'énergie en représentant l'inductance mutuelle par une bobine de magnétisation  $L_{Mag}$  et une bobine  $L_{Leak}$  qui représente les fuites.

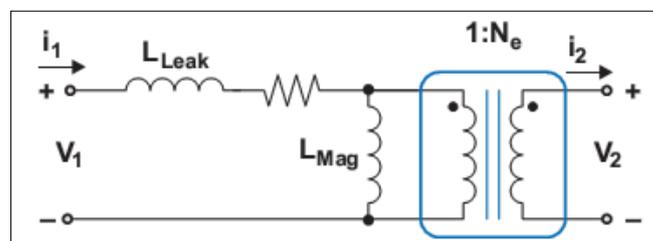


Figure 10: Transformateur avec bobines de fuite et de magnétisation<sup>26</sup>

Le rapport de couplage d'un transformateur idéal est donné par la relation suivante :

$$N_e = \frac{1}{K} \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}}$$

Avec  $L_{Mag} = K^2 L_{11}$

Dans un système de couplage proche, l'inductance de fuite étant très petite devant l'inductance de magnétisation, cela nous permet de la négliger devant celle-ci. De plus les capacités utilisées en série avec la bobine du primaire et celle du secondaire, permettent de réduire l'effet de l'inductance de fuite. Par conséquent, le gain en tension du couplage peut être approximé pour un premier ordre à la relation suivante :

$$\frac{V_2}{V_1} = K \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}}$$

Le système de transfert d'énergie sans fil conforme Qi se compose de deux bobines plates séparées et isolées des faces extérieures par des feuilles de blindage magnétique. Lorsqu'on approche les deux bobines (côté face non blindé), elles peuvent être modélisées comme un transformateur à deux bobines avec un noyau d'air (figure 6).

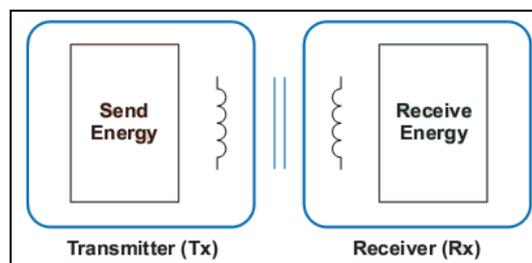


Figure 11: Transformateur avec un noyau d'air<sup>27</sup>

Le matériau de protection sur les deux faces sert à canaliser le flux magnétique. Ceci permet aux lignes de champ magnétique de se concentrer entre les deux bobines.

Pour un système conforme Qi typique, le coefficient de couplage (k) est beaucoup plus faible que pour un transformateur classique. Un transformateur de couplage traditionnel peut avoir un coefficient de couplage qui peut aller de 0,95 à 0,99. Tandis que pour un système conforme Qi, le coefficient de couplage est de l'ordre de 20 à 70%.

Pour diminuer les fuites du couplage, la norme Qi propose un bouchon résonnant en série sur les bobines Tx et Rx qui peut compenser l'inductance de fuite à la résonance.

## 5. Exigences électriques de la bobine du secondaire

Afin de déterminer le gain en tension nécessaire aux bornes du transformateur, nous avons fixé une puissance de sortie de notre système qui est de 5W.

Selon la norme Qi, le processus de conception de la bobine Rx est borné aux choix de paramètres à trois axes :

- ✓ Le blindage utilisé pour la concentration du champ magnétique
- ✓ Le calibre du fil utilisé pour la réalisation de la bobine
- ✓ Le nombre de tour utilisés

### a. Le blindage

Le blindage a deux fonctions principales :

- Il permet de fournir un canal de faible impédance pour le flux magnétique afin de le canaliser au centre des deux bobines Rx et Tx.
- Il permet aussi d'utiliser des bobines de grande inductance avec moins de tour afin de minimiser la résistance du fil.

Selon la norme Qi, l'utilisation d'un blindage épais permet de :

- Canaliser une grande quantité de flux magnétique, c'est-à-dire qu'ils ont un point de saturation à un flux élevé, et peuvent être utilisés pour éviter l'échauffement des composants derrière la bobine Rx.
- Avoir un meilleur rendement.

À noter que des matériaux de haute perméabilité présentent un point de saturation de flux plus faible lorsque l'épaisseur du blindage est réduite.

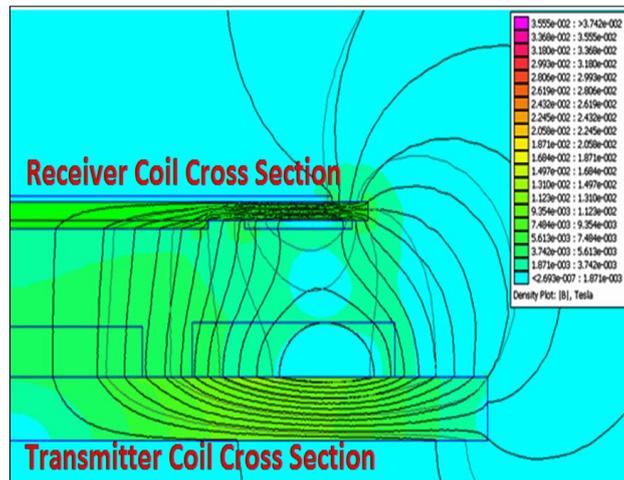


Figure 12 : concentration du champ magnétique entre les deux bobines<sup>28</sup>

## b. Calibre du fil

Le choix du calibre du fil de la bobine Rx est basé sur le coût par rapport à la performance. Un fil de grand diamètre ou un câble bifilaire (deux fils parallèles) peuvent fournir des rendements élevés mais sont coûteux et peuvent entraîner une épaisseur plus importante pour la bobine Rx. Par exemple, une bobine de circuit imprimé peut être plus avantageux en coût global mais représente une résistance série équivalente beaucoup plus élevée qu'un câble bifilaire.

## c. Nombre de tour

Une fois le fil et le blindage choisis, le nombre de spire définit l'inductance de la bobine Rx. L'inductance de la bobine et le coefficient de couplage déterminent le gain en tension en sortie ainsi que la puissance fournie.

Afin de déterminer l'inductance ciblée, trois approches peuvent être utilisées :

- 1- Une utilisation d'une bobine de type A1 (une bobine plate d'une certaine dimension) pour la bobine Tx au primaire. Exemple : (surface de  $1500\text{mm}^2$ ,  $24\mu\text{H}$ , 19V)
- 2- Quand un matériau de blindage avec une perméabilité sensiblement plus élevée que l'air (supérieure à 20) est utilisé, la surface de bobine est un bon indicateur de coefficient de couplage, par contre cela n'est valable que pour les bobines plates. Afin d'assurer un couplage raisonnable et une efficacité élevée, une bobine de Rx peut être utilisée avec une surface de 70 à 80 % de la superficie de la bobine de Tx pour un système qui demande une puissance de 5W. Cela garantit un coefficient d'environ 50 % de couplage pour la plupart des conceptions raisonnables avec une distance qui peut aller jusqu'à 5 mm entre les bobines Tx et Rx comme spécifié par le WPC.
- 3- Une conception typique d'un système de tension de sortie 5V/5W montre que le coefficient de couplage d'environ 50%, une inductance secondaire de l'ordre de  $10\mu\text{H}$  est suffisante pour produire les tensions de cibles requises.

Il existe deux relations à prendre en compte dans la conception du système:

$$V_2 = K V_{IN} \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}}$$

Avec  $L_{22} = N_2^2$

Par conséquent, si le coefficient de couplage est modifié, l'inductance pour la même puissance de sortie peut augmenter. Comme représenté dans l'équation précédente, l'inductance de la bobine est proportionnelle au nombre de spires.

Le tableau ci-dessous donne l'inductance de la bobine Rx et le coefficient de couplage pour certaines bobines conçues pour ce système :

Dimensions (mm)	Nbr de tour	Vout (V)	Pout (W)	L <sub>22</sub> (μH)	K
48 x 32	15	5	5	12	~ 0.6
28 x 14	24	5	2.5	33	~ 0.25
35 x 35	24	7	5	22	~ 0.5

### d. Mesure de la bobine Rx

Selon la spécification WPC, l'inductance de la bobine Rx (Ls') est mesurée avec la configuration de test sur la figure 13.

Ls est mesurée sans le blindage de la bobine Tx.

Ls' est mesurée avec le blindage de la bobine Tx

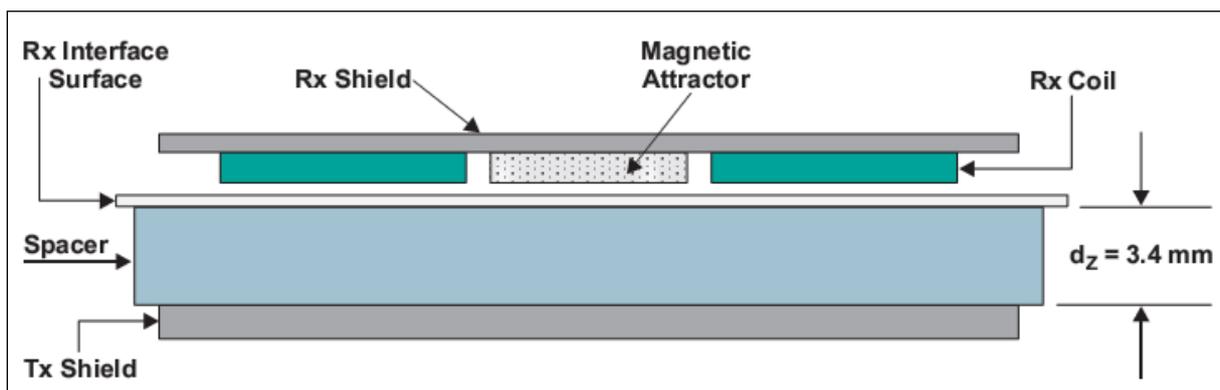
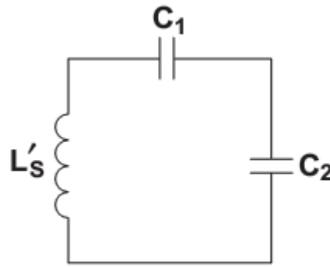


Figure 13: Configuration pour mesurer l'inductance Ls' de la bobine Rx<sup>29</sup>

### e. Réglage de la bobine Rx

Le schéma simplifié de la configuration de la bobine Rx est constitué d'un condensateur de résonance en série C1, et C2 un autre en parallèle.

Ces deux condensateurs constituent le double circuit de résonance avec la bobine Rx (figure 14) et doivent être dimensionnés correctement par la spécification WPC.

Figure 14: Circuit résonnant<sup>30</sup>

Pour calculer C1, la fréquence de résonance de 100 kHz est utilisé avec Ls ' :

$$C_1 = \frac{1}{(100 \text{ kHz} \times 2\pi)^2 \times L'_s}$$

Pour calculer C2, une résonance secondaire de 1 MHz est utilisée avec Ls.

Ce calcul nécessite que C1 soit connu au préalable et utilisé dans suivante:

$$C_2 = \frac{1}{(1 \text{ MHz} \times 2\pi)^2 \times (L_s - \frac{1}{C_1})}$$

## 6. Le facteur de qualité<sup>31</sup>

Le ratio de l'inductance (L) avec la résistance (R) d'une bobine reste constant pour différents types de bobinage tant que les volumes et les formes restent identiques.

La tension qui est induite par le courant traversant la bobine émettrice est proportionnelle à la fréquence et donc à la puissance apparente du système.

Formule du facteur de qualité pour une bobine :

$$Q = \frac{\omega L_s}{R} \quad \text{Avec} \quad \omega = 2\pi f$$

Avec R est la résistance DC de la bobine Rx.

Pour une fréquence donnée, le facteur de qualité est donc dépendant de la forme, de la taille, de la bobine ainsi que du matériau utilisé pour la construire.

Le facteur de qualité peut prendre une valeur compris entre 0 et l'infini. Néanmoins il est très difficile d'obtenir un facteur qualité supérieur à 1000 pour une bobine. Pour une production commerciale le facteur de qualité est environ de 100. Nous fixerons un facteur de qualité supérieur à 77.

## 7. Présentation d'une ligne de charge d'une batterie de téléphone portable :

Un exemple de configuration pour effectuer une analyse de ligne de charge est représenté sur la Figure 9, dont les paramètres sont définis comme suit:

- $V_{IN}$  : est l'entrée alternative du système, elle doit avoir une amplitude crête-à-crête de 19 V

- $C_p$  : est la capacité de résonance série du primaire (100nF pour une bobine de type A1)
- $L_p$  : est la bobine Tx (type A1)
- $L_s$  : est la bobine du secondaire Rx
- $C_1$  : est la capacité de résonance série du secondaire choisie pendant le test
- $C_2$  : est la capacité de résonance parallèle du secondaire choisie pendant le test
- $C_B$  : est le condensateur parallèle au pont de diode.  $C_B$  doit être au moins de 10 pF à 25 V
- $R_L$  : est la charge

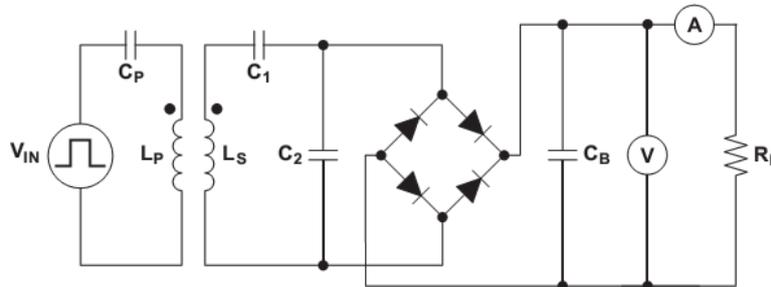


Figure 15: Ligne de charge d'une batterie<sup>32</sup>

## 8. Le facteur de pertes minimales<sup>33</sup>

Un chargeur sans fil est limité par les pertes en puissance qui apparaissent dans le système. Cette énergie perdue, sous forme de chaleur, fixe une puissance maximale transférable. Néanmoins, une optimisation peut-être réalisée dans le but de réduire ces pertes. Ces pertes peuvent être exprimées selon un 'facteur de perte' :

$$\lambda = \frac{P_{pertes}}{P_{sortie}}$$

Ce facteur correspond à la somme des pertes relatives à la transmission de puissance. Cette optimisation peut être effectuée si le chargeur sans fil et le téléphone correspondent.

$$\lambda = \frac{1}{(k \cdot Q)^2} \cdot \left( 2 + \sqrt{(k \cdot Q)^2 + 1} + \frac{1}{\sqrt{(k \cdot Q)^2 + 1}} \right) + \frac{1}{\sqrt{(k \cdot Q)^2 + 1}}$$

Cette équation simplifiée est :  $\lambda_{min} = \frac{2}{(k \cdot Q)^2} \cdot \left( 1 + \sqrt{1 + (k \cdot Q)^2} \right)$  (Esko Strömmer chercheur diplômé en Electrotechnique)

Cette équation dépend seulement du facteur de couplage (K) et du facteur de qualité du système (Q) qui est une moyenne des facteurs de qualités de la bobine émettrice et de la bobine réceptrice.

Le résultat fourni par cette équation est représenté dans la figure 16.

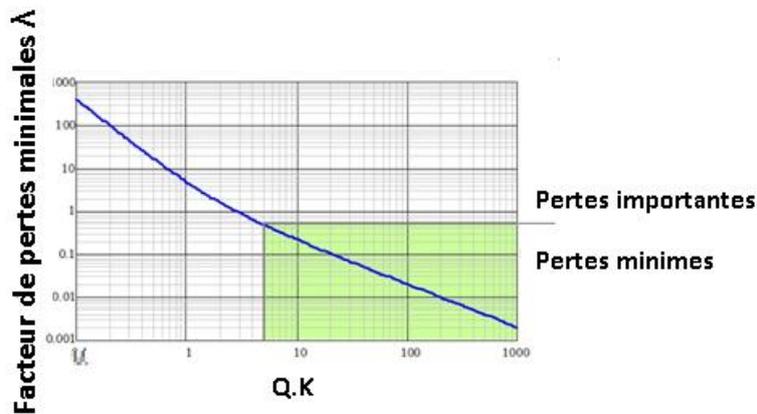


Figure 16: Facteur de pertes suivant le produit du facteur de qualité et de couplage<sup>34</sup>

On peut remarquer que le facteur de qualité et le facteur de couplage déterminent tous deux la performance du chargeur sans fil. Ainsi un facteur de couplage faible peut être compensé par un meilleur facteur de qualité des bobines, et vice versa.

## 9. Le rendement<sup>35</sup>

La figure 17 montre le rendement d'un système comparable à celui représenté dans la figure 16 avec un facteur qualité (Q) fixé à 100. Le diamètre (D) de la bobine émettrice est fixe, seul le diamètre (D2) de la bobine réceptrice varie.

Les rendements calculés sont fonction de la distance (Z) entre les deux bobines divisés par le diamètre de la bobine primaire (D).

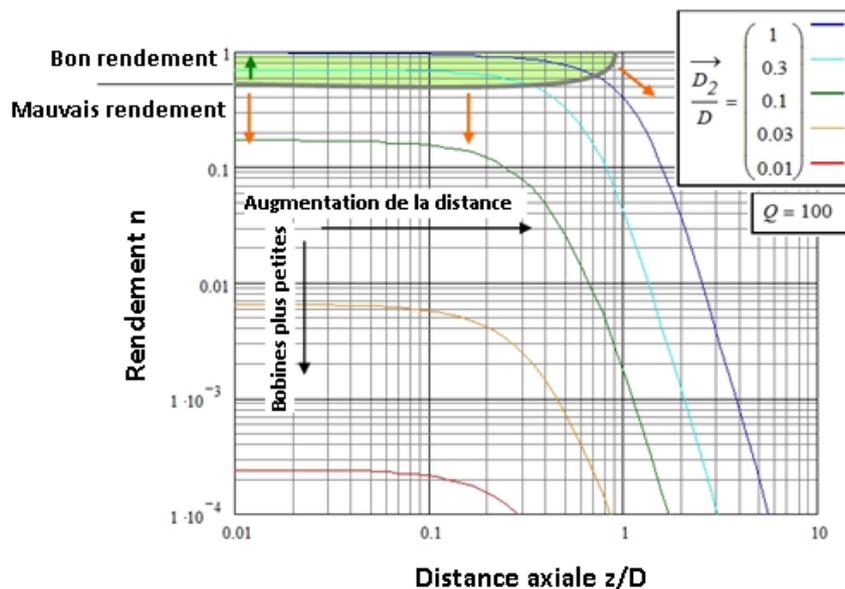


Figure 17: Rendement pour un transfert d'énergie sans fil suivant la distance entre les deux bobines<sup>36</sup>

Cette figure montre que le rendement chute dès que le ratio Z/D est supérieur à 1 ou quand le ratio entre le diamètre des deux bobines est inférieur à 0.3.

De ce fait plus la distance entre les deux bobines est courte et plus les bobines ont la même taille, plus on obtiendra un bon rendement.

Cela montre également que le transfert d'énergie sur de longues distances est inefficace, et qu'un chargeur sans fil peut rivaliser avec un chargeur filaire lambda si de bonnes conditions sont présentes.

## VI. Schéma bloc du système complet

### 1. Schéma bloc général

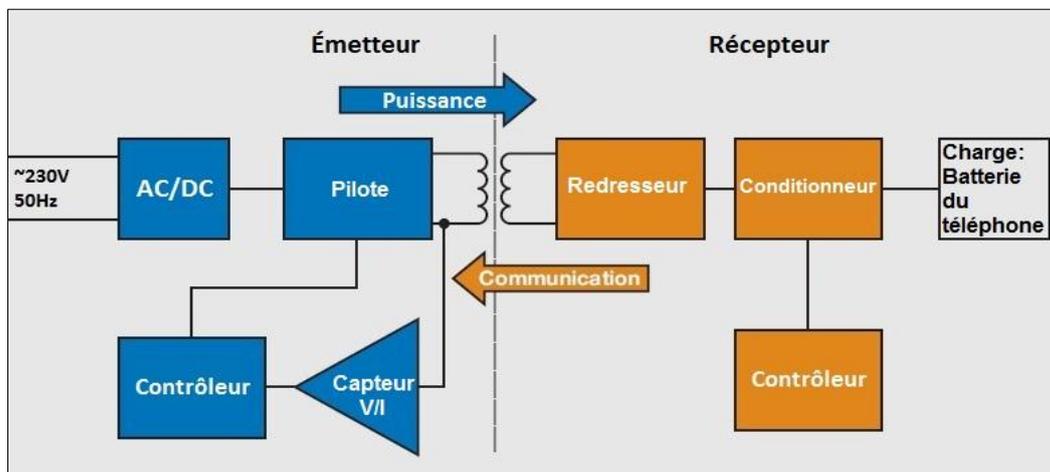


Figure 18: Schéma bloc du système complet<sup>37</sup>

Nous pouvons distinguer dans le système complet, deux grandes parties :

#### a. La partie émettrice

L'émetteur de puissance est la partie fixe du circuit. Le transfert de puissance est unidirectionnel, de l'émetteur vers le récepteur. Les principales sous fonctions de l'étage émetteur sont :

- **Le convertisseur AC/DC** : Convertit les 230 volts 50 hertz issus du secteur en une tension continue entre 5 et 20 volts selon le design de l'émetteur. Dans la suite nous utiliserons une tension de 19V.
- **Le pilote** : Gère la bobine pour qu'elle envoie la puissance selon la demande du contrôleur.
- **Le capteur V/I** : Détecte la tension et/ou le courant de la bobine pour le convertir et l'envoyer au contrôleur.
- **Le contrôleur** : Commande le pilote pour influencer sur un paramètre (tension, fréquence, phase) de la bobine d'entrée. Il reçoit les informations du récepteur via le capteur afin d'optimiser rendement.

#### b. La partie réceptrice

Le récepteur de puissance est la partie mobile du circuit, c'est le terminal que l'on cherche à recharger. Les principales sous fonctions de l'étage récepteur sont :

- **Le redresseur** : Convertit la puissance reçue en une tension continue permettant d'alimenter le conditionneur.
- **Le conditionneur** : Protège le redresseur et la charge. Lorsqu'une tension plus faible que celle de la batterie est appliquée au conditionneur, celui-ci déconnecte électriquement le redresseur et la charge, afin que la batterie ne se décharge pas. Il protège aussi en sur-courant et sur-tension.
- **La communication** : Envoie des informations unilatéralement sur divers paramètres, pour que le transmetteur envoie plus ou moins de puissance.
- **Contrôleur** : Gère toute la partie réceptrice.

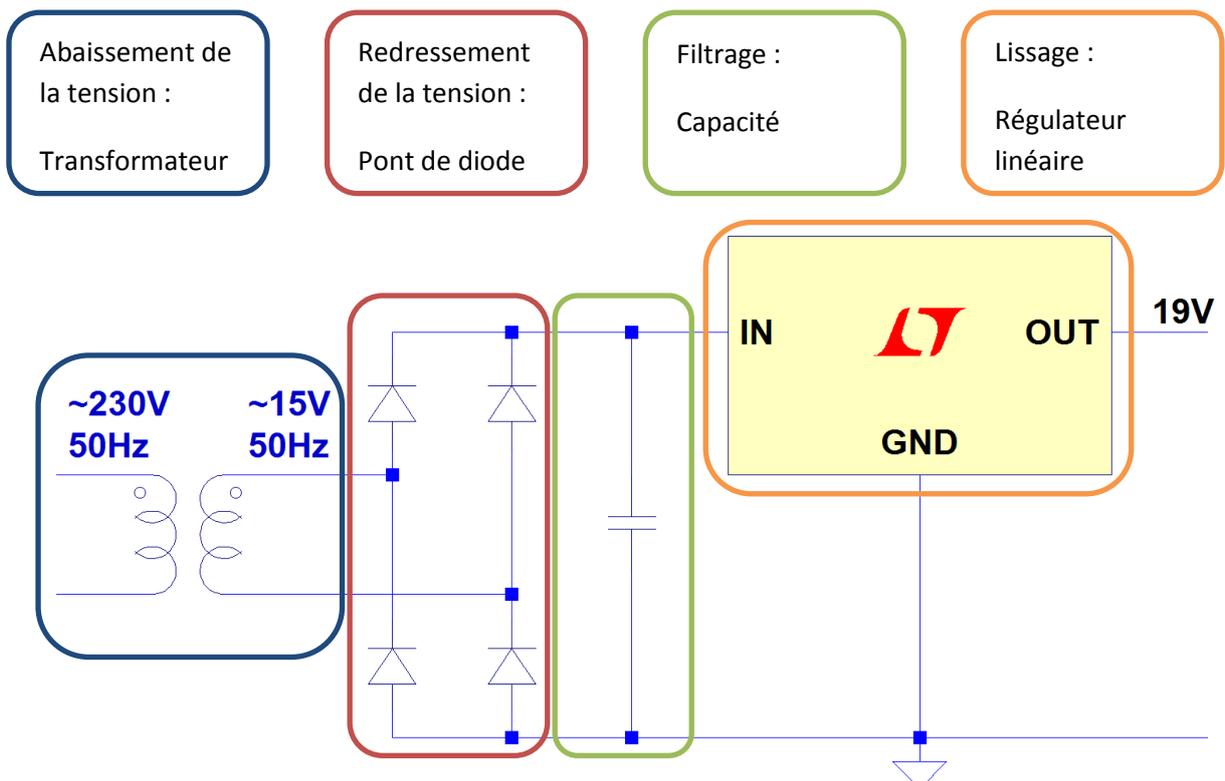
## 2. Schéma de chaque bloc

À partir du schéma bloc nous pouvons dans un premier temps, associer chaque bloc ou fonction à un schéma simple.

### a. Le convertisseur AC/DC

Pour convertir l'alternatif en une tension continue plus faible plusieurs solutions sont possibles.

La première solution consiste à abaisser la tension alternative grâce à un transformateur, puis la redresser avec un pont de Graëtz et en dernier la lisser avec une capacité et rajouter un régulateur linéaire pour qu'il n'y ait aucune ondulation en sortie.



Avantage :

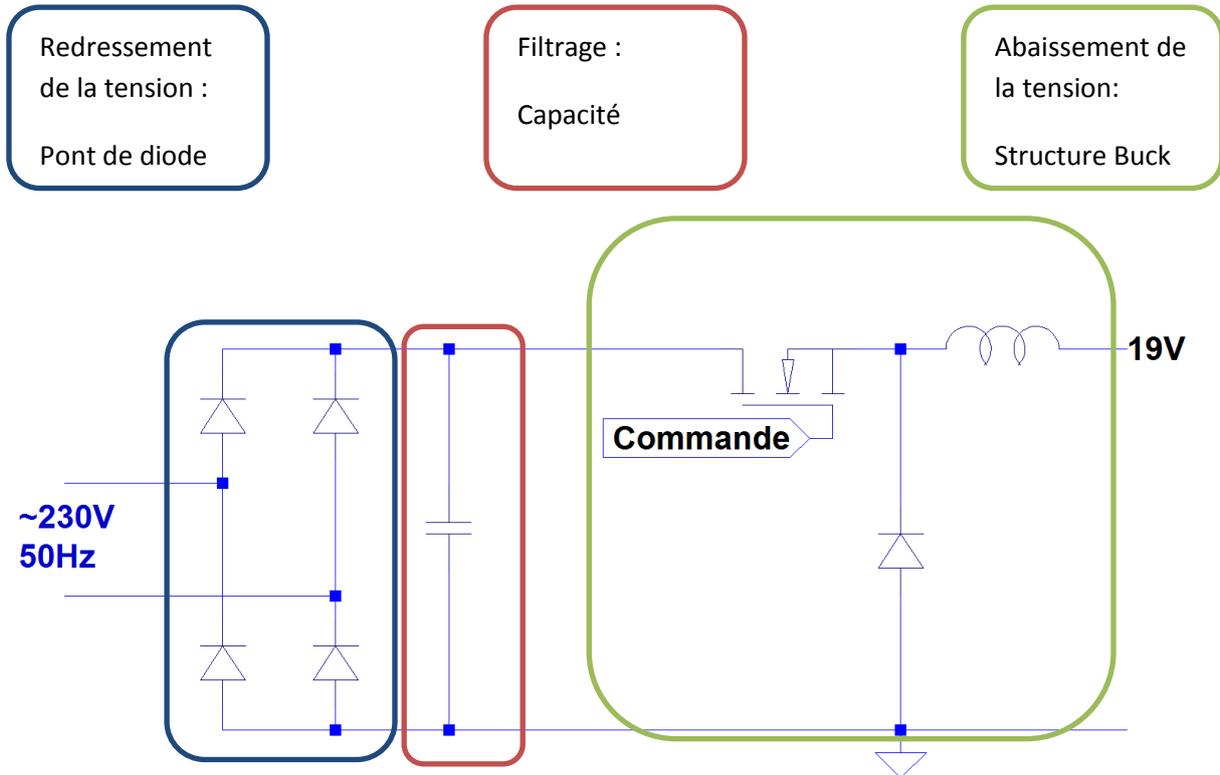
- Facilité de mise en œuvre.
- Peu de composant.

Inconvénients :

- Solution lourde et encombrante à cause du transformateur 50Hz.
- Rendement moyen.

Cette solution est la plus facile, cependant les inconvénients sont trop importants pour un produit grand public. En effet une alimentation à découpage permettrait de réduire grandement le poids et le volume grâce à un transformateur inexistant ou plus petit. De plus cela augmenterait le rendement ayant pour conséquence de diminuer la montée en température des composants ainsi qu'améliorer la durabilité du système.

La deuxième solution propose de redresser directement la tension alternative du réseau pour l'abaisser grâce à une structure de type Buck.



Avantages :

- Bon rendement.
- Léger et compact grâce à l'utilisation d'une seule inductance

Inconvénients :

- Absence d'isolation galvanique.
- Ondulation de tension et pollution électromagnétique plus importante à cause de la commutation du transistor.
- Difficile à mettre en œuvre à cause de la différence entre le 325V redressé et le 19V en sortie, le driver de transistor fonctionnera avec un rapport cyclique très faible, engendrant un fonctionnement non optimal.

Cette solution améliore grandement le rendement, le poids, et le volume. Cependant ces améliorations se font au profit de la qualité de la tension de sortie comportant une ondulation parasite et d'une génération de pollution électromagnétique dû aux commutations du transistor.

Pour résoudre le problème de la mise en œuvre, nous pouvons changer de convertisseur pour une structure isolée.

Nous souhaitons réaliser une alimentation stabilisée en tension 19-V / 2,5-A à partir du réseau EDF monophasé 230 V / 50 Hz.

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Tension d'entrée monophasée	Ve	230	[V]
Tension de sortie	Vs	19	[V]
Courant de sortie	Is	2.5	[A]
Fréquence de découpage	F	205	[KHz]
Ondulation de tension de sortie	$\Delta V_s \text{ max}$	1	[V]
Ondulation de courant de sorti	$\Delta I_s \text{ max}$	0,2	[A]

Figure 19: Cahier des charges

Pour déterminer l'architecture de notre système nous devons réfléchir aux différentes étapes qui nous permettront de concevoir le système tout en respectant les paramètres du cahier des charges.

Afin d'isoler notre système du réseau EDF 230V, nous utiliserons un transformateur idéal qui assurera l'isolation galvanique.

Par la suite la tension d'entrée doit être redressée afin de pouvoir générer une tension continue. Pour cela nous utiliserons un pont de (Pont de Graetz).

Nous utiliserons un condensateur pour lisser le signal à la sortie du pont de Graetz.

Le signal redressé se décharge très faiblement, par conséquent il y a une petite variation de tension aux bornes de la charge, donc la constante de temps doit être très supérieure au temps entre deux crêtes du signal.

La formule pour dimensionner le condensateur est :

$$C = (I \cdot T) / U \text{ crête à crête}$$

$$C_1 = \frac{2.5 \times 0.02}{325} \approx 154 \mu F$$

Il nous faut donc simuler cette valeur pour voir si nos résultats sont cohérents.

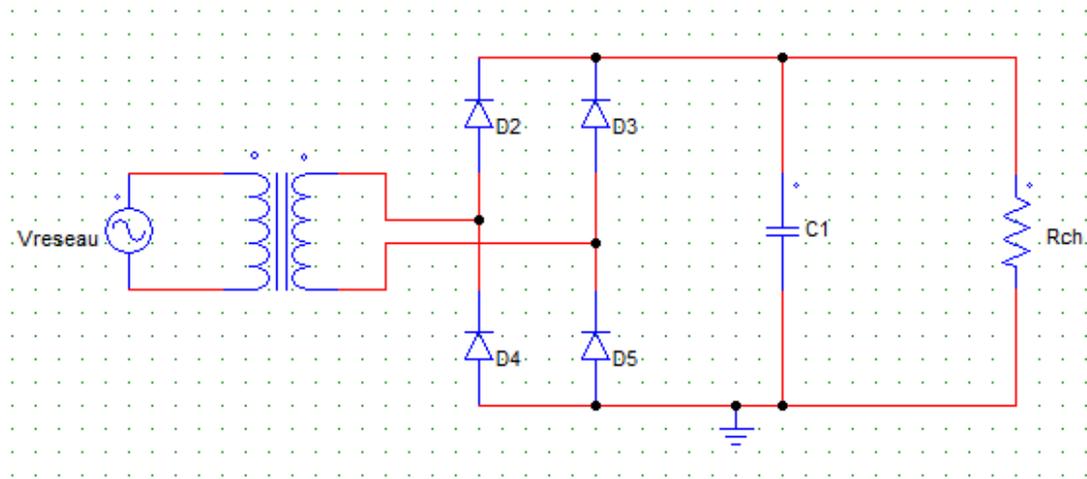


Figure 20: Schéma du redressement

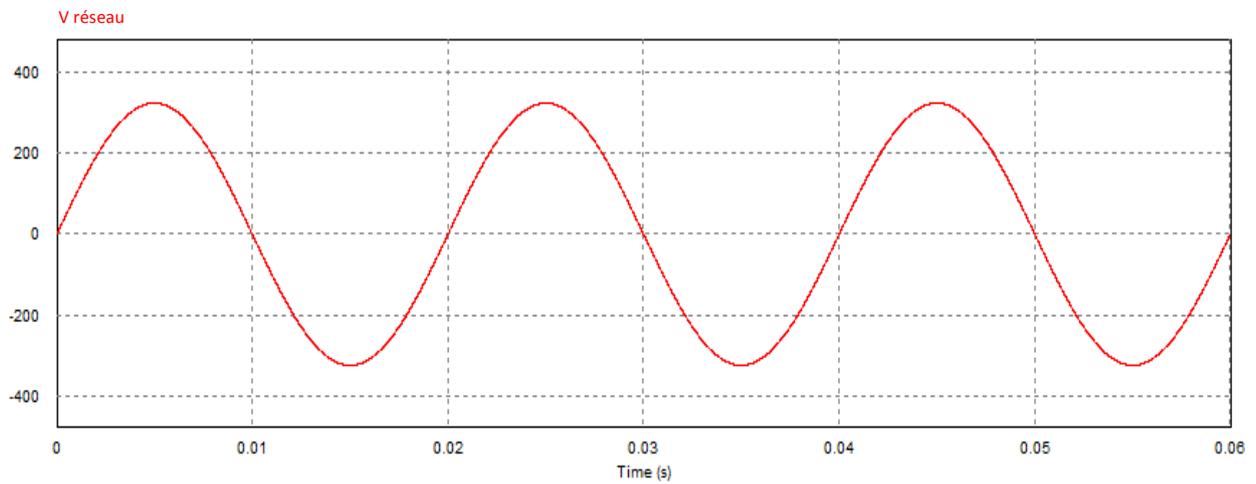


Figure 21: Signal d'entrée

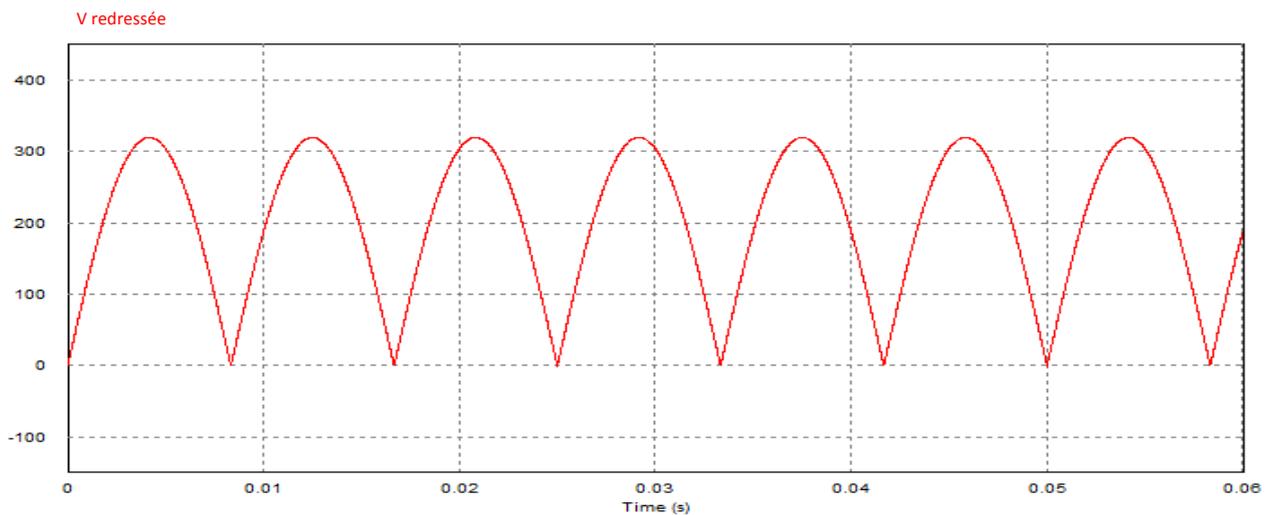


Figure 22: Signal redressé

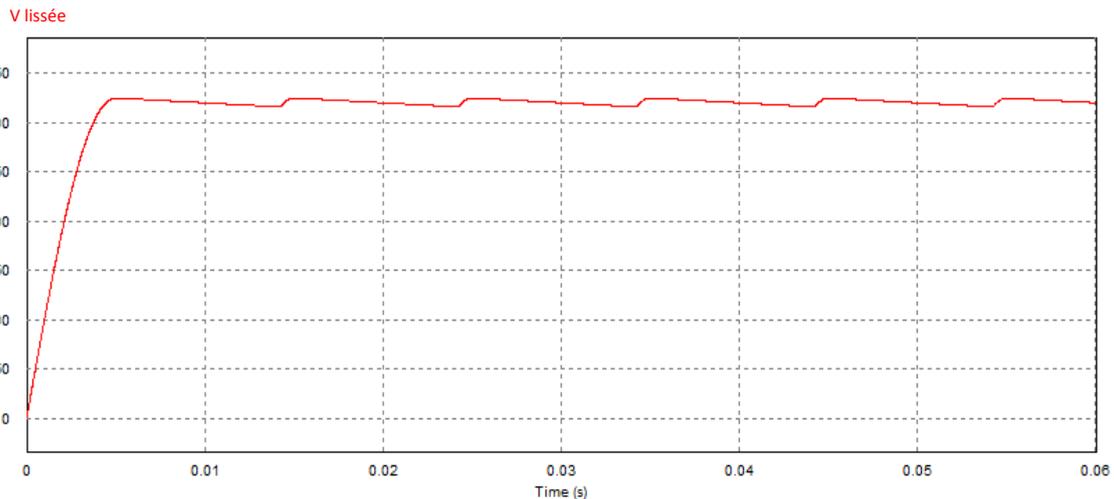


Figure 23: Signal lissé

Aux vues de nos précédentes simulations nous pouvons constater qu'après la charge du condensateur la tension de sortie devient constante. Nos résultats sont donc cohérents.

Après avoir obtenue la tension de 325V issue du redressement, il faut l'abaisser à 19V.

Afin de faciliter l'étude nous étudions le hacheur de type Buck séparément. En entrée du montage nous prenons donc une tension continue de 325V.

Dans cette partie, nous expliquerons le fonctionnement de la Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) qui commande le transistor. Afin de commander le transistor, on lui injecte une impulsion à sa base pour qu'il puisse conduire.

En faisant varier la commutation du transistor à l'aide d'un signal de commande nous obtiendrons, en sortie, une variation du rapport cyclique.

Le signal de commande sera créé à l'aide d'un Amplificateur Opérationnel (AOP) qui va comparer une tension continue à un signal triangulaire.

Le rapport cyclique  $\alpha$  étant de 0,06 nous injecterons sur l'entrée non-inverseuse de l'AOP une tension continue de 0,06V et sur l'entrée inverseuse de l'AOP une rampe qui va varier de 0 à 1V à la fréquence de découpage imposée par le cahier des charges, 205 kHz.

Nous étudierons ce montage sous Psim qui est un logiciel gratuit de simulation électrique.

En reprenant les formules issues de l'étude du Buck (voir annexe), nous dimensionnons les principaux composants de la structure suivante :

$$\Delta I_L = \frac{E \cdot (1 - \alpha) \cdot \alpha}{L \cdot f} \quad L = \frac{E \cdot (1 - \alpha) \cdot \alpha}{\Delta I_L \cdot f}$$

A.N. : 
$$L_1 = \frac{325 \cdot (1 - 0.06) \cdot 0.06}{0.2 \cdot 205 \cdot 10^3} = 447 \mu\text{H}$$

$$\Delta V_S = \frac{\Delta i_L}{8 \cdot C \cdot f} \quad \text{Et} \quad C = \frac{\Delta i_L}{8 \cdot \Delta V_S \cdot f}$$

A.N. : 
$$C_2 = \frac{0.2}{8 \cdot 1 \cdot 205 \cdot 10^3} = 122 \text{ nF}$$

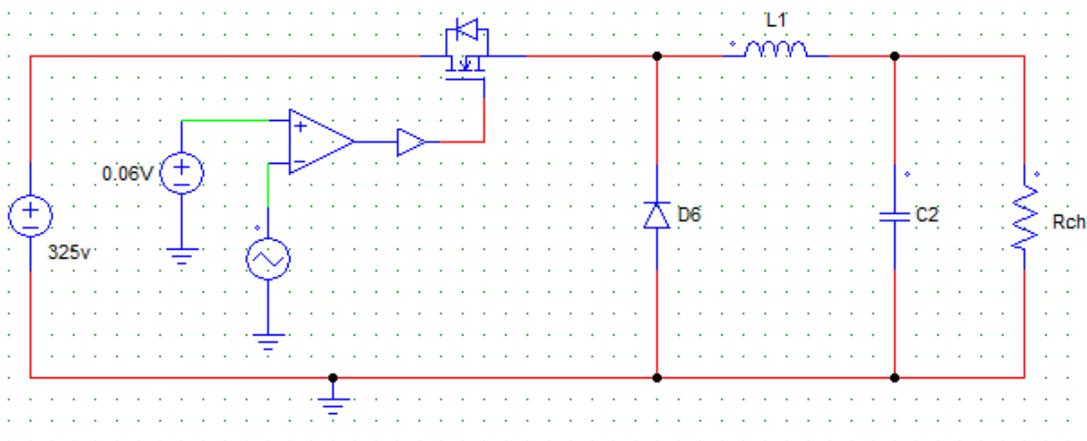


Figure 24: Schéma du hacheur Buck

Lorsque  $V^+ > V^-$       donc  $V_{S1} = +V_{CC} = 1V$   
 Lorsque  $V^+ < V^-$       donc  $V_{S1} = -V_{CC} = 0V$

Résultats obtenus sur Psim :

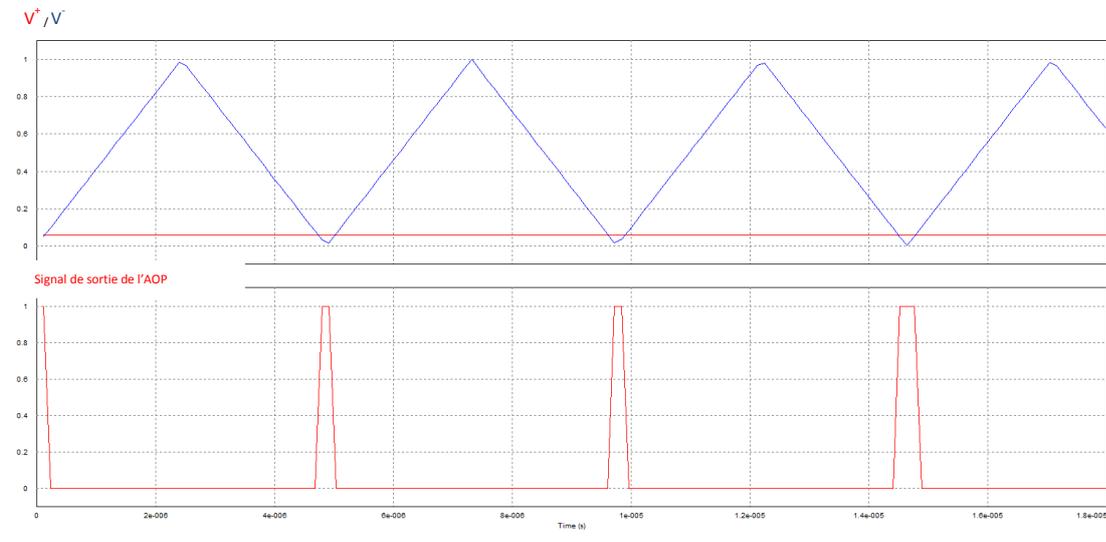


Figure 25: Représentation du MLI

Lorsque  $V_{rampe} > V_{continue}$  soit  $V_{rampe} > 0,06V$  on obtient  $V_{s1}=0V$ . A l'inverse, lorsque  $V_{rampe} < 0,06V$  on obtient  $V_{s1}=1V$ .

Cette rampe a une pente constante, de ce fait le temps pendant lequel le transistor est fermé correspond au un rapport cyclique de 0,06.

Le transistor se comporte comme un interrupteur fermé pendant 6% du temps de la période (qui correspond à la fréquence de découpage), le reste de la période le transistor sera assimilable à un interrupteur ouvert.

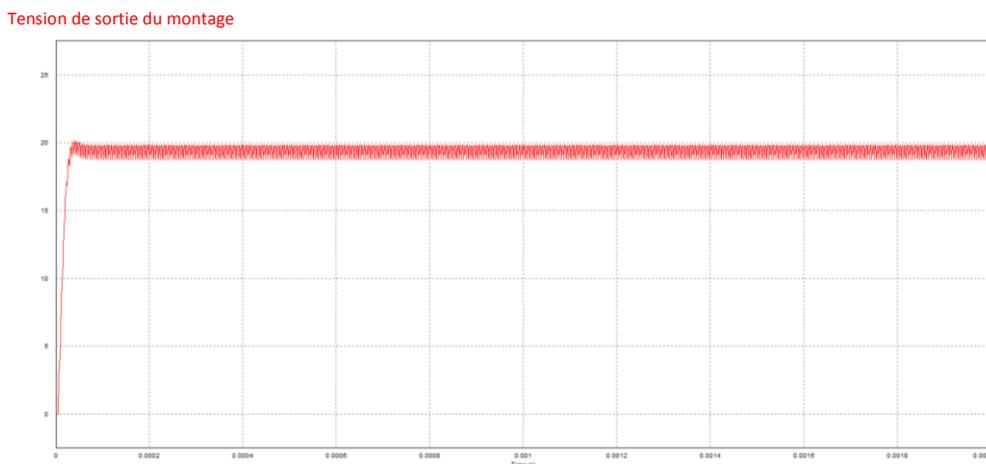


Figure 26: Tension de sortie du montage

La tension de sortie est donc bien abaissée à 19V, ce résultat est conforme à nos attentes.

Nous devons également générer un courant de 2.5A, de ce fait  $R_{CH} = 7.8\Omega$

Symbole	Valeur	Unité
C <sub>1</sub>	154	[μF]
L <sub>1</sub>	447	[μH]
C <sub>2</sub>	122	[nF]
R <sub>CH</sub>	7,8	[Ω]

Figure 27: Récapitulatif du dimensionnement

Le schéma ci-dessous représente le montage complet à partir du réseau EDF. La sortie de ce montage va attaquer un hacheur demi-pont permettant de générer un signal haché à 205kHz.

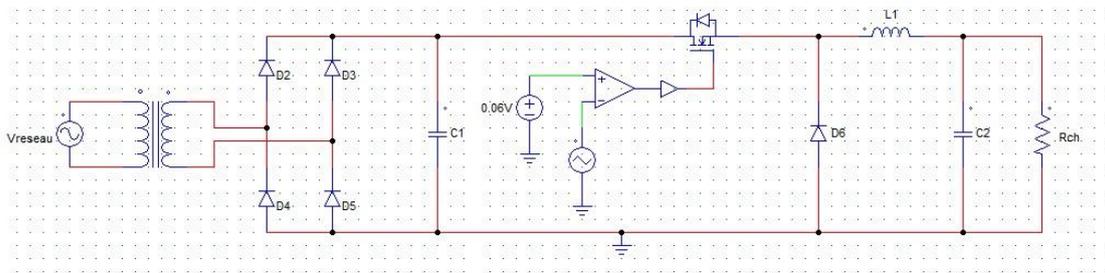


Figure 28: Schéma du montage complet

La troisième solution repose sur le même principe que la deuxième mais avec une structure de type Flyback pour abaisser la tension.

Redressement  
de la tension :

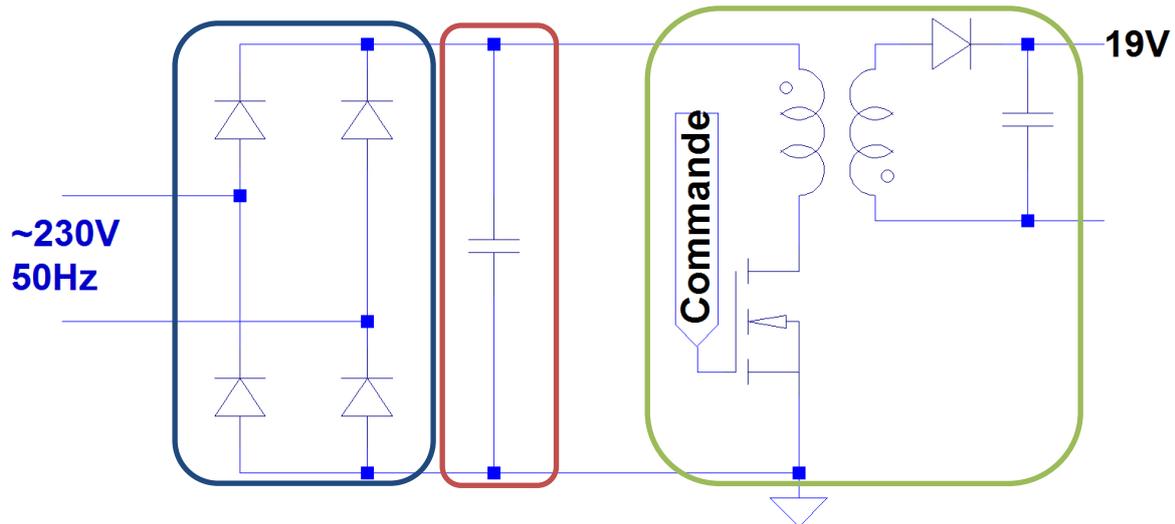
Pont de diode

Filtrage :

Capacité

Abaissement de  
la tension:

Structure Buck



Avantages :

- Bon rendement.
- Léger et compact grâce à l'utilisation d'un transformateur à une fréquence élevée.
- Isolation galvanique présente.
- Plus facile à mettre en œuvre grâce à au transformateur permettant de baisser la tension et ainsi permettre à la structure de fonctionner avec un rapport cyclique correct.

Inconvénient :

- Présence d'ondulation de tension et de pollution électromagnétique.

Cette solution est le meilleur compromis, il subsiste toutefois l'inconvénient de la pollution propre à toutes les alimentations à découpage.

## b. Le Pilote

Pour que la transmission d'énergie opère il faut que la tension de la bobine soit alternative. Pour onduler une tension issue d'un convertisseur DC/DC, un simple onduleur demi-pont permet d'obtenir une tension carrée permettant d'envoyer l'énergie nécessaire.

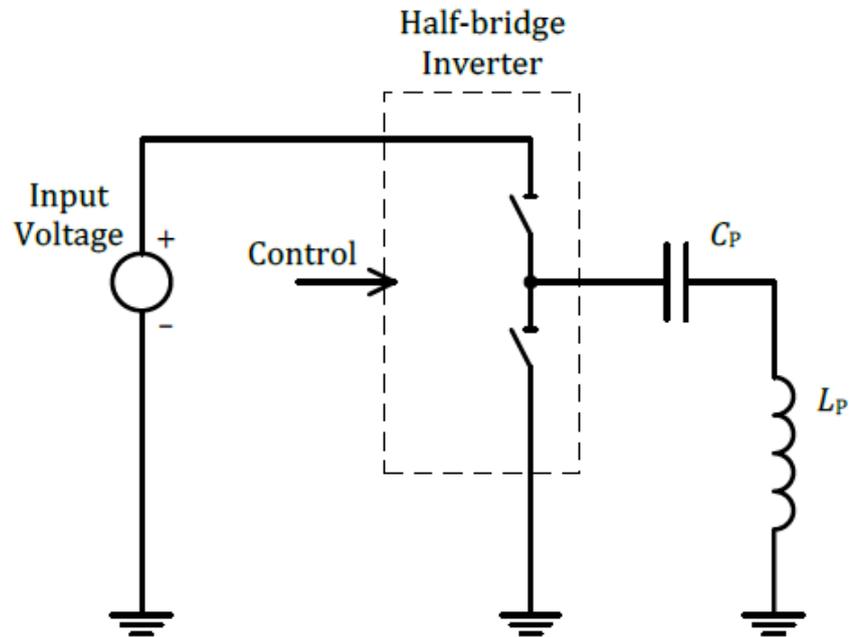


Figure 29 : Structure en demi-pont<sup>38</sup>

Pour contrôler et réguler la puissance transmise nous pouvons augmenter ou diminuer la fréquence et/ou le rapport cyclique. Ce schéma est relativement simple mais ne permet d'utiliser qu'une seule bobine et la tension aux bornes de  $C_p$  peut atteindre  $200V$ <sup>39</sup> lorsque la base fonctionne près de la résonance.

Nous avons simulé le pilote sur LtSpice, avec le LT1162 comme driver de MOSFET (composant pour piloter les transistors). Les capacités C5 et C6 permettent de faire un pont capacitif pour fixer une tension moyenne de 9.5V (soit la moitié de 19V) pour que la tension de la bobine soit égale à la tension de sortie du pont (une tension carrée de 0 à 19V) moins la tension de 9.5V donnant une tension alternative de 19V crête à crête centré en zéro.

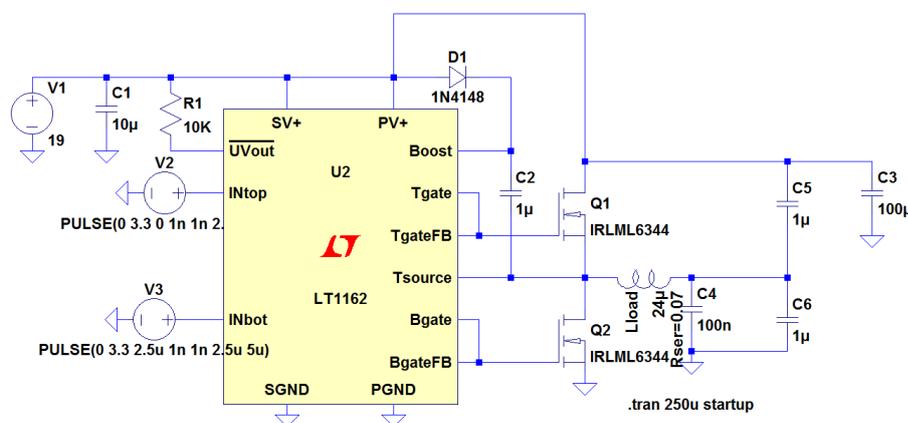


Figure 30 : Exemple de la partie pilote.

La tension aux bornes de l'inductance est de cette forme :

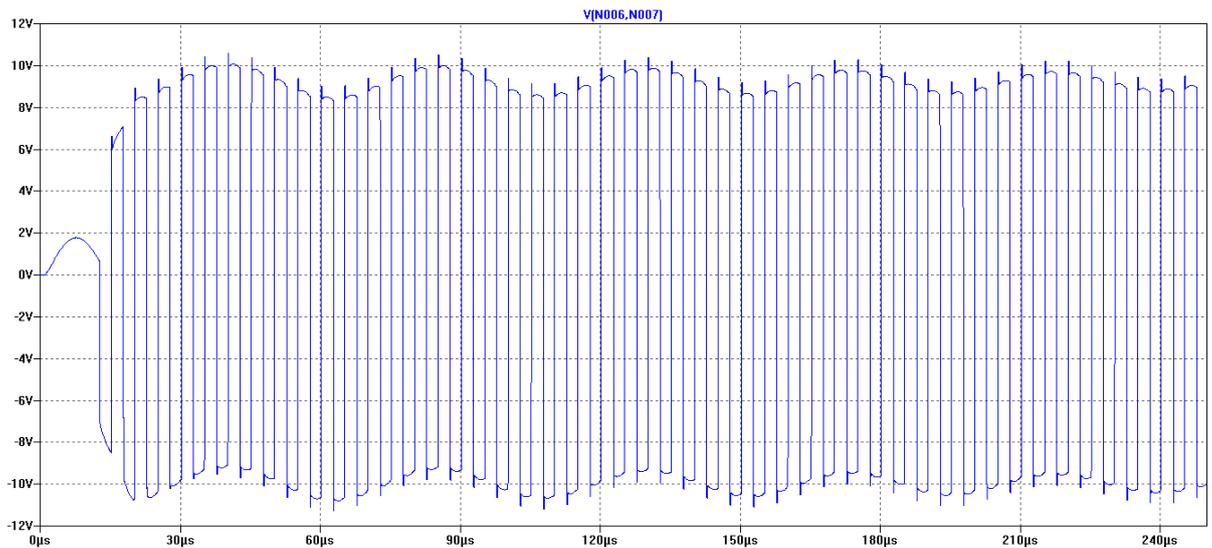


Figure 31 : Oscillogramme de la tension aux bornes de l'inductance Lload

Des schémas plus complexes permettent d'utiliser plusieurs bobines afin de recharger le téléphone quel que soit sa position sur la base. De plus la tension aux bornes de  $C_{m1}$  peut atteindre 36V lorsque le système fonctionne près de la résonance.

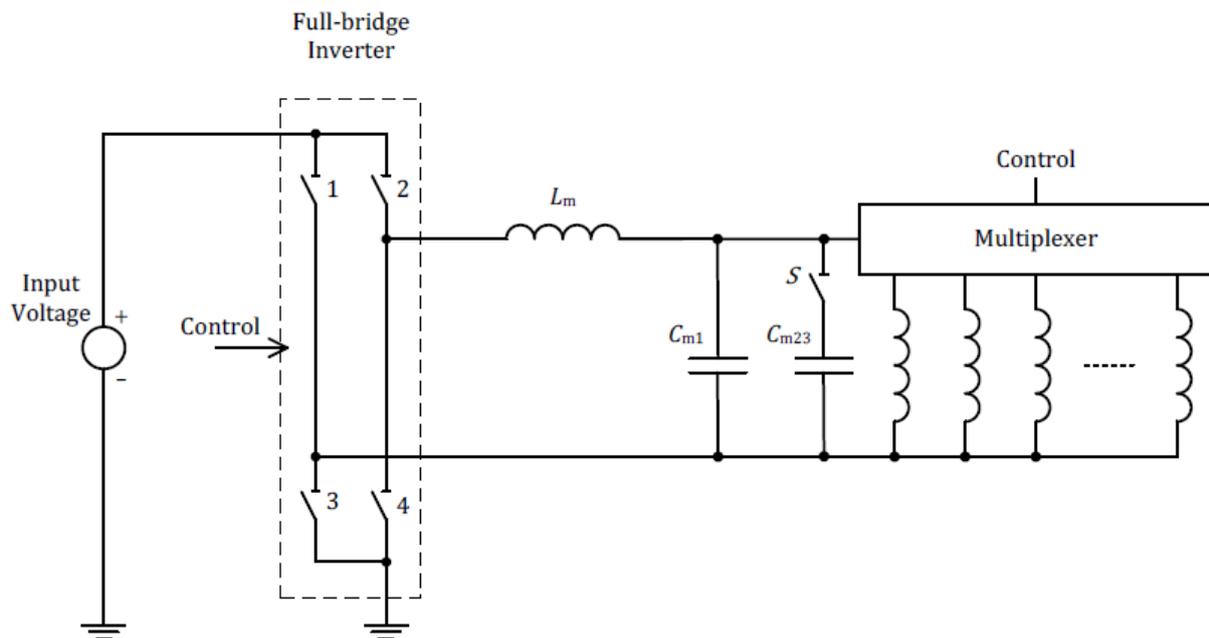


Schéma 1 : Structure en pont complet, avec un multiplexeur gérant les multiples inductances

## a. Le capteur V/I

Pour mesurer une tension ou un courant exploitable par le contrôleur, il existe peu de solution.

Les plus répandus sont le pont diviseur de tension et le montage amplificateur inverseur ou non de tension avec un AOP. L'amplificateur permet un courant de fuite très faible. La tension  $V_{sense}$  est l'image du courant est utilisée par le contrôleur.

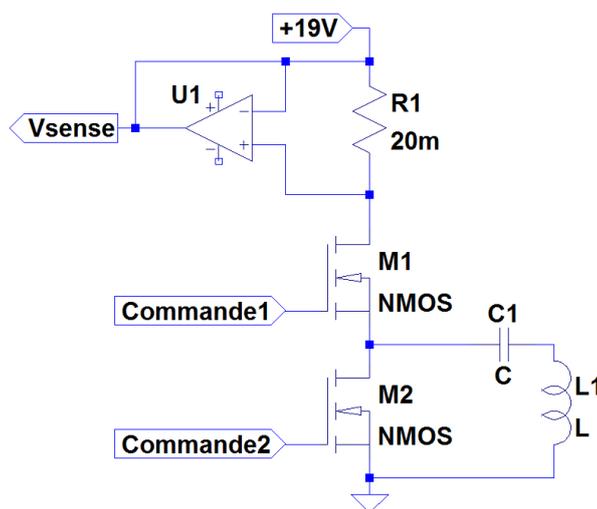


Figure 32 : Montage mesurant le courant

## b. Le contrôleur de l'émetteur

Cette partie comporte peu de composants discrets, elle est surtout centrée sur un composant intégré. Nous pouvons citer par exemple le BQ500210 de Texas Instruments permettant de gérer beaucoup de paramètres tels que la température, la tension, le courant, il permet aussi de dialoguer avec d'autres composants pour ajouter d'autres fonctions comme la gestion de l'économie d'énergie avec le MSP430G2001.

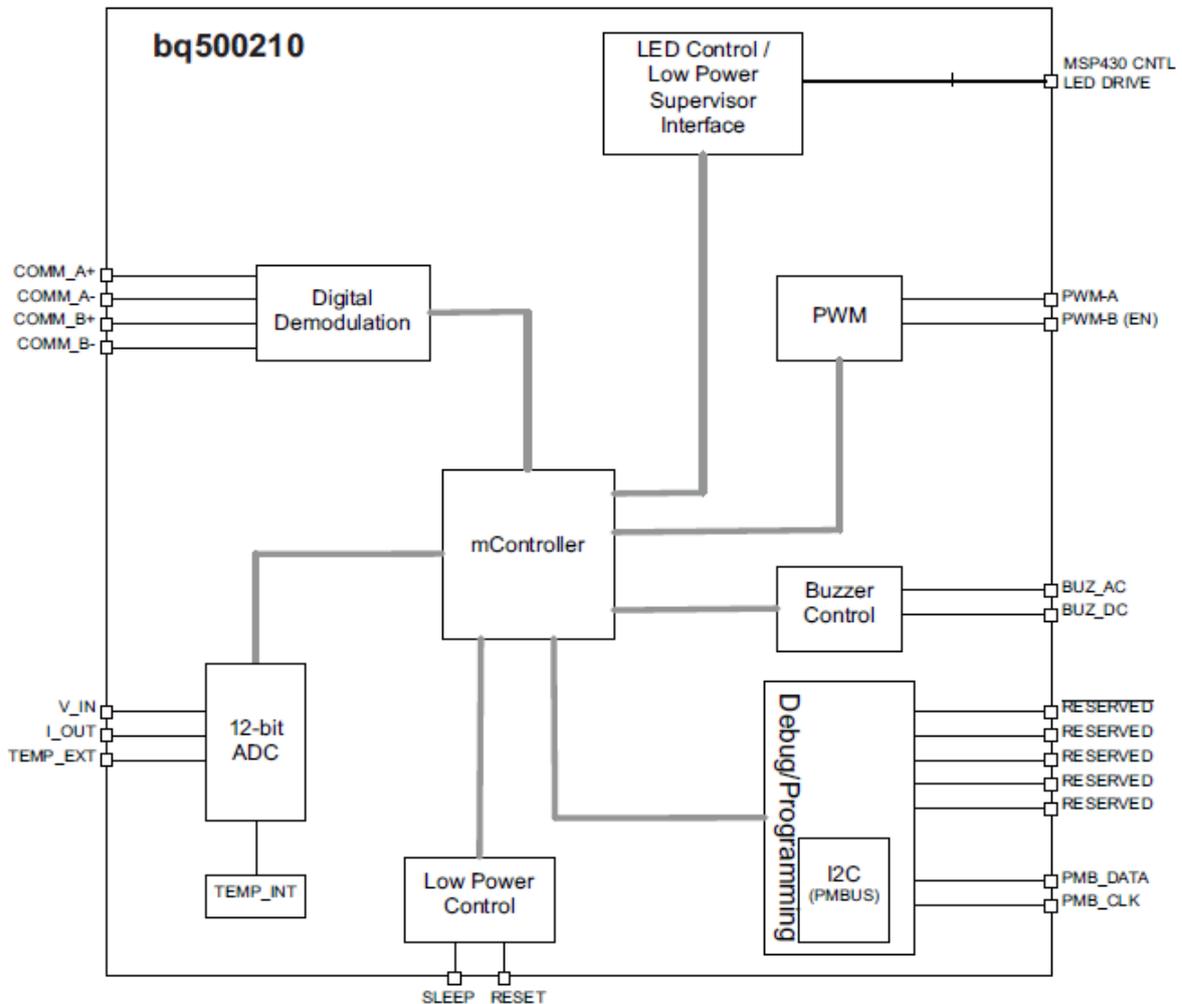


Figure 33 : Schéma bloc du BQ500210 de Texas Instruments

### c. Le redresseur

Le schéma peut se résumer à un pont de Graëtz, cependant pour améliorer le rendement à forte puissance ou faible tension nous pouvons remplacer les diodes par des transistors MOSFET s'affranchissant ainsi de la tension présente lorsque la diode conduit, représentant entre 0.6 et 1.2V selon la technologie ce qui peut représenter une perte importante.

### d. Le conditionneur

Le conditionneur est réalisé avec une topologie « Hot Swap », un MOSFET sert d'interrupteur commandé pour déconnecter les 2 parties lorsqu'un problème survient. Ici le but est de détecter une sous tension pour ne pas décharger la batterie mais aussi de la préserver d'un courant trop élevé.

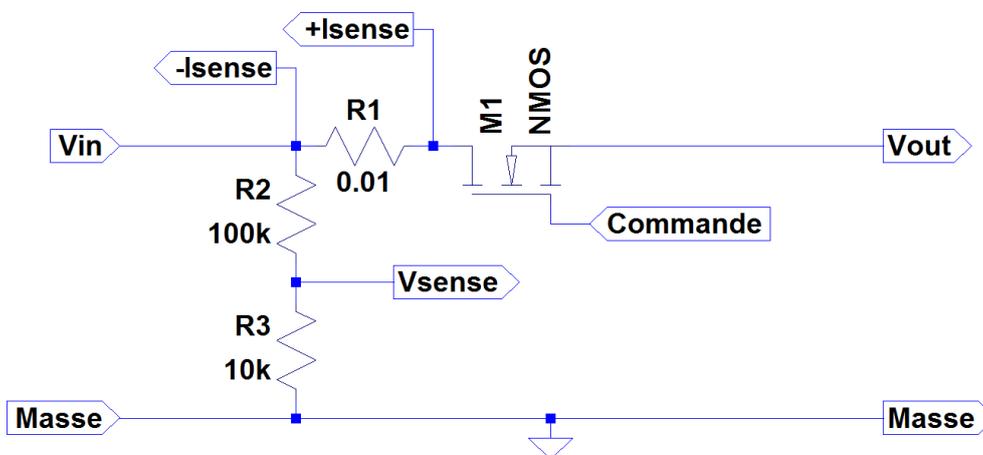


Figure 34 : Schéma simple d'un Hot-Swap

Le schéma au-dessus est un exemple de hot swap, le pont de résistance  $R_2$ ,  $R_3$  permet de relever une partie de la tension d'entrée,  $1/11^{ème}$  pour cet exemple.

$R_1$  est une résistance de sense, son utilité est d'avoir une tension en fonction du courant, une résistance élevée permet d'avoir une bonne sensibilité, mais augmente la perte de tension et de puissance.

Concernant le signal de commande, celui-ci est généré en fonction de la tension et du courant captés par les résistances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ , le générateur de ce signal peut-être un composant intégré ou réalisé avec des composants discrets et des AOP.

## e. La communication

La communication se fait grâce à des variations de charge.

Cette variation de charge peut être résistive ( $R_{MOD}$ ), dans ce cas elle se place après le redresseur.

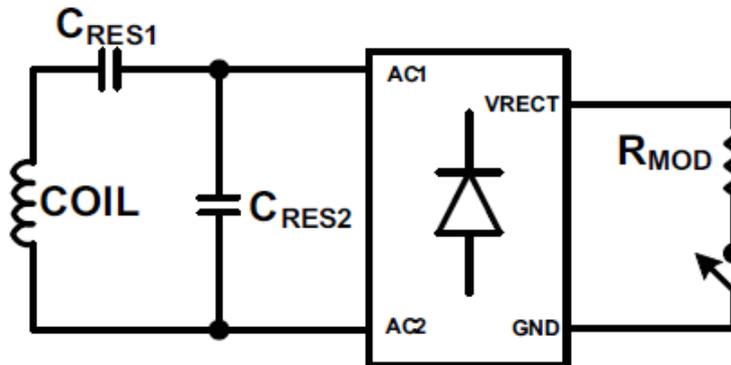


Figure 35 : Schématique d'une variation de charge résistive

La variation de charge peut être capacitive ( $C_{MOD}$ ), dans ce cas-là elle se place avant le redresseur.

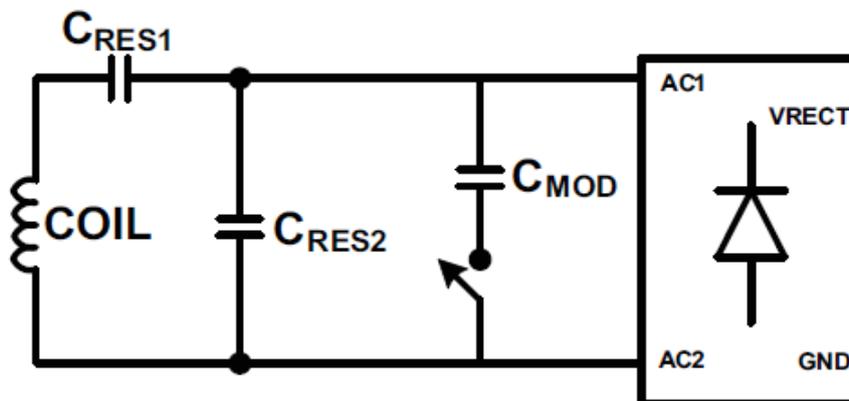


Figure 36 : Schématique d'une variation de charge capacitive

Sur les 2 schémas,  $C_{RES1}$  et  $C_{RES2}$  représentent les condensateurs de résonance.

L'interrupteur commandé est un transistor, étant donné qu'il fonctionne en saturé/bloqué nous préférons un transistor à effet de champ par rapport au bipolaire.

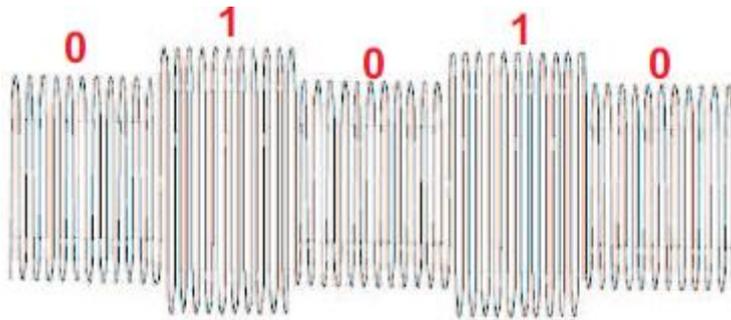
## f. Le contrôleur du récepteur

Le contrôleur au niveau de la réception gère la charge de la batterie, le conditionneur, le redresseur s'il est synchrone, ainsi que la communication avec la base.

## VII. Explication des fonctions annexes

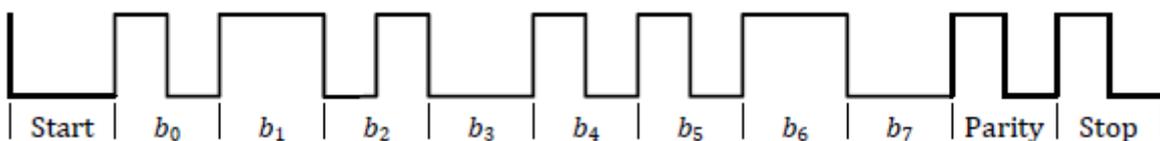
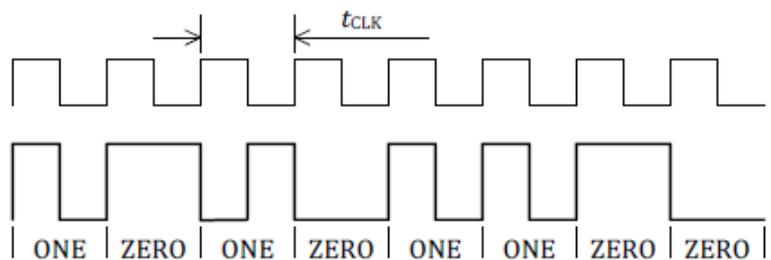
### 1. Communication base-téléphone

La communication est unilatérale allant du téléphone à la base. Pour transmettre les données, la partie réceptrice de puissance fait varier sa charge, avec soit une résistance, soit une capacité comme précisé au chapitre VI)2)g. Cette variation de charge crée des états détectés par le capteur de courant et de tension de la base.



Le codage utilise un codage différentiel biphasé. Chaque bit de donnée est aligné sur une période entière de 0.5ms ou  $2\text{kHz}^{\pm 4\%}$ . Un « 1 » encodé résulte de 2 transitions pendant la durée du bit, et un « 0 » encodé résulte d'une seule transition.

Chaque octet de donnée est envoyé d'abord par un bit de début, la donnée du bit le plus faible jusqu'au bit le plus fort, un bit de parité et un bit de fin. Le bit de départ est un « 0 » logique tandis que le bit de fin est un « 1 » logique. Le bit de parité est impair, ce qui signifie que celui-ci est à « 1 » s'il y a un nombre pair de « 1 » dans l'octet de donnée.

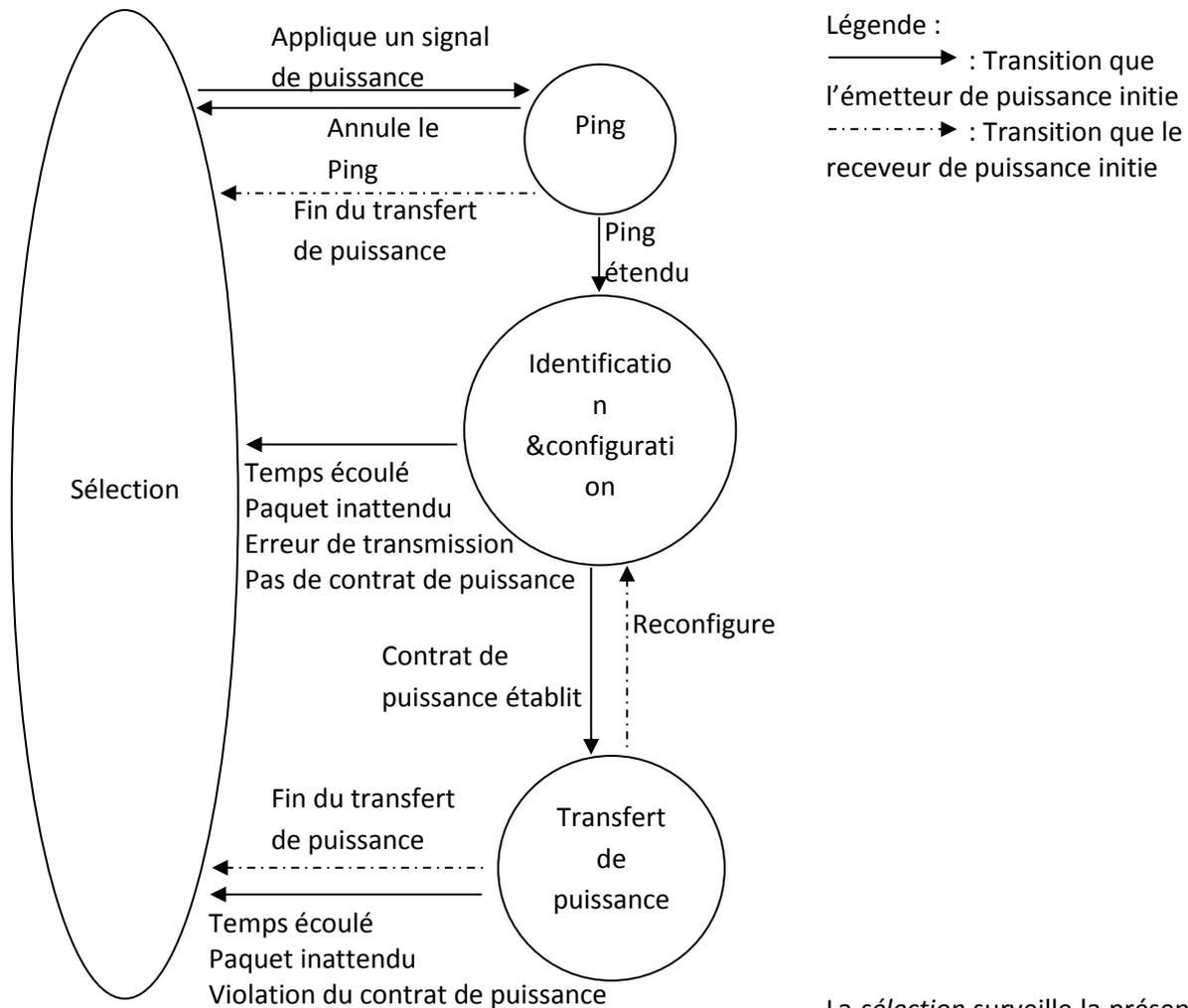


La communication s'effectue par paquet constitué de 4 parties :

Préambule	En-tête	Message	Checksum
11 à 25 bits	1 octet		1 octet

- Le préambule constitué de 11 à 25 bits de donnée tout à 1 dans le but de synchroniser la base de charge avec les données entrantes.
- L'en-tête permet d'indiquer le type du paquet ainsi que la taille du message. Comme par exemple 0x01 indique la force du signal et 0x02 demande la fin du transfert d'énergie
- Le message renvoie une valeur fonction de l'en-tête. En reprenant l'exemple précédent, la demande de la fin de transfert aura un en-tête de 0x02 et les données du message sera fonction de la raison de la demande d'interruption comme 0x01 indique que la charge est terminée ou 0x02 indique un problème interne.
- Le checksum est un octet permettant à la base de détecter une erreur dans la transmission. Celui-ci correspond à un calcul fonction de l'en-tête et du message.

La communication avant et pendant la charge passe par 4 étapes, la *sélection*, le *ping*, l'*identification & la configuration* et le *transfert de puissance*. Ces étapes s'enchaînent dans l'ordre suivant :



La *sélection* surveille la présence

d'objet sur la surface de la base. Elle peut distinguer, si la fonction est implémentée, les objets non désirés (clés, pièces,...) des terminaux à recharger. Si un terminal est détecté, le système passe en phase de *ping*.

La phase de *ping* consiste à ce que l'émetteur de puissance envoie un signal et attend une réponse de la part du récepteur de puissance. Si une réponse est captée, l'émetteur de puissance étend son signal pour entrer dans la phase d'*identification & configuration*. Sinon il retourne dans la phase de *sélection*.

La phase d'*identification & configuration* permet au récepteur de puissance d'établir un contrat de puissance avec quelques informations et limites comme par exemple la quantité de puissance demandé à la sortie du récepteur de puissance. Lorsque le contrat est établi, le système bascule en *transfert de puissance*.

La phase *transfert de puissance* recharge le terminal tout en prenant en compte les données du récepteur de puissance. Cette phase se termine si, le contrat de puissance n'est pas respecté, le temps est écoulé ou si le récepteur demande la fin car il a fini sa charge, dans ce cas le système retourne à la phase *sélection*.

## 2. Gestion de la charge

A ce jour les batteries de nos téléphones portables sont des batteries Lithium-ion polymère.

### 1. Rappels sur la batterie lithium-ion<sup>40</sup>

Le terme lithium ion est un terme générique pour désigner plusieurs types de batteries. Il existe en effet des batteries Li-ion cobalt, Li-ion Manganèse, Li-ion Phosphate, Li-ion polymère. Ces batteries sont utilisées dans les appareils portables et de petites tailles car ce sont celles qui proposent les plus fortes valeurs de densité massique (ou énergie spécifique).

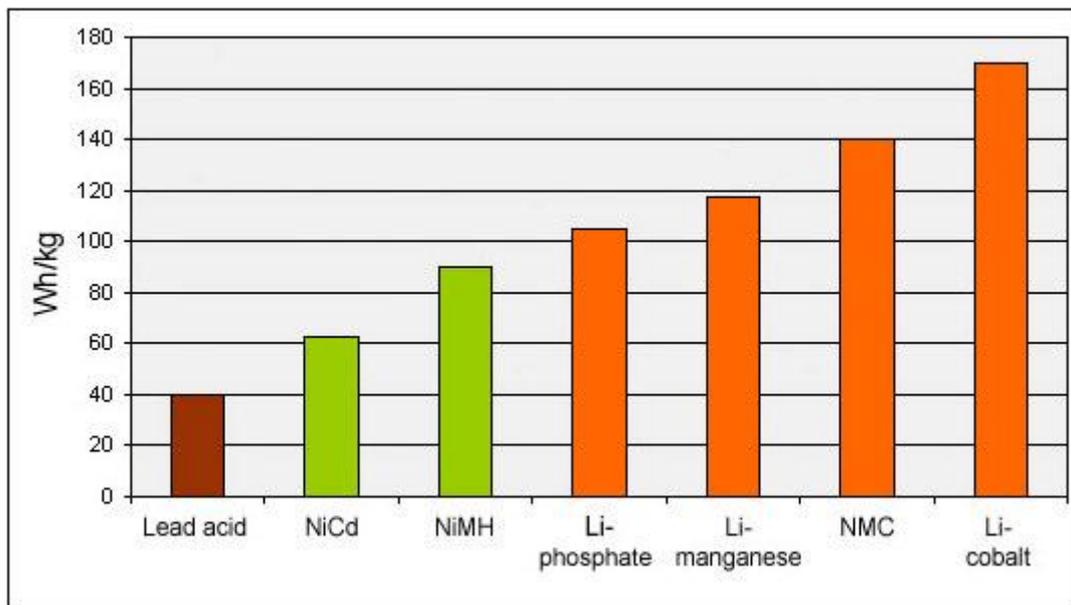


Figure 37: Comparaison de différentes technologies de batterie suivant leurs densités massique<sup>41</sup>

Voici un rapide comparatif des différentes batteries / accumulateurs existant :

Spécifications	NiCd	NiMH	Li-ion			
			Cobalt	Manganese	Phosphate	Polymère
Energie Spécifique (Wh/Kg)	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120	150-190
Résistance interne (mΩ)	100-200	200-300	150-300	25-75 par cellule	25-50 par cellule	20-30 par cellule
Nombre de cycles de charges	1000	300-500	500-1000	500-1000	1000-2000	200-300
Autodécharge sur 1 mois	20%	30%	<10%			
Tension nominale (V)	1,2/1,25	1,2/1,25	3,6	3,8	3,3	3,7
Utilisé depuis	1950	1990	1991	1996	1999	2000

Figure 38: Comparatif des différentes technologies de batterie<sup>42</sup>

Les batteries Li-ion Polymère sont les plus utilisées dans nos téléphones portables. Le terme polymère fait référence à l'électrolyte de la batterie (substance conductrice) qui est gélifiée au lieu d'être liquide. Ainsi il n'y a plus besoin de rigidifier la batterie à l'aide d'un boîtier métallique.

Ces batteries sont donc constituées de matériaux plastiques, plus légers et permettant des formes plus complexes dans le but de combler la place vide dans le téléphone.



Figure 39: La batterie d'un Iphone5<sup>43</sup>

Avec la technologie des batteries Lithium ion polymère il n'est plus nécessaire de décharger complètement la batterie avant de la recharger. De ce fait elles sont compatibles avec des recharges ponctuelles induites par l'utilisation d'un chargeur sans fil.

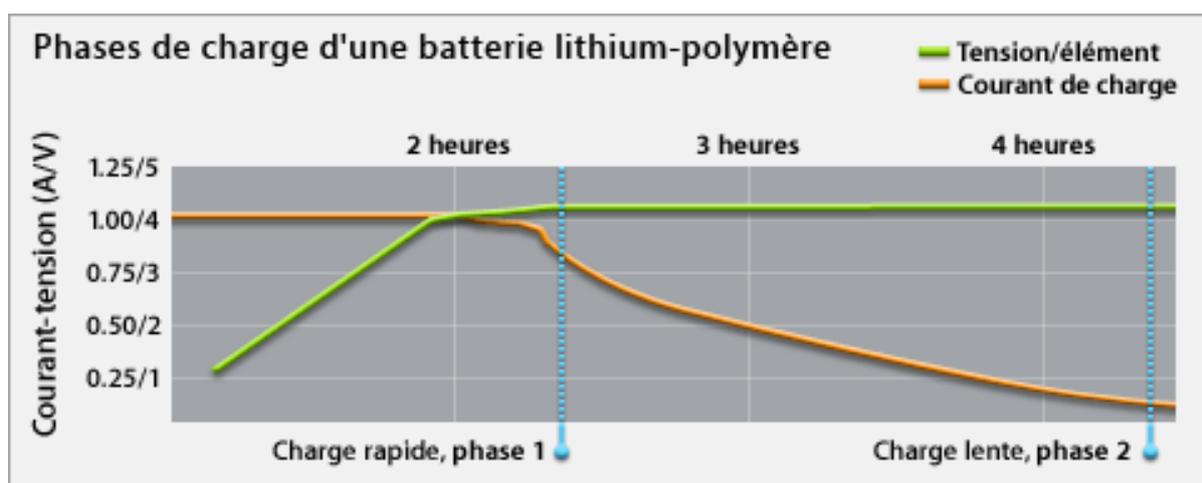


Figure 40: Gestion de la charge d'une batterie lithium-polymère<sup>44</sup>

## VIII. Schéma d'une base de recharge sans fil

### IX. L'intérêt de cette technologie

#### 1. Avantage et inconvénients

##### a. Avantages :

- Confort d'utilisation.

Comme dit précédemment le fait d'utiliser son téléphone plus souvent couplé d'une stagnation technologique des batteries induit une charge de plus en plus fréquente par l'utilisateur. Le fait de pouvoir recharger simplement en posant son appareil sur une surface et d'utiliser ce même chargeur pour plusieurs téléphones améliore l'ergonomie du processus de charge. Dernièrement, des bornes de recharge sont disponibles dans des lieux publics comme les cafés.

##### b. Inconvénients

- Durée de chargement plus long.
- Une technologie sans fil nécessitant un cordon d'alimentation.

Le paradoxe dans la technologie dite « sans fil » c'est qu'elle nécessite quand même l'utilisation d'un cordon pour relier la base de charge au secteur.

- Technologie complexe.

Comme expliqué précédemment cette technologie est relativement complexe par rapport à un chargeur classique. Car en plus de comporter les éléments essentiels pour la recharge, comme une alimentation AC/DC et de l'électronique contrôlant la charge, le système a besoin d'un pilote de bobine, d'un composant gérant la communication aussi bien sur la base que sur le téléphone ainsi que d'autres sous-fonctions. Tout cela additionné, le système final est complexe, coûteux et peu écologique au vu du nombre de composants obligatoires pour que le système fonctionne.

#### 2. Aspect marketing

Certaines entreprises essaient d'intégrer cette technologie à leurs produits autres que les téléphones, comme les voitures qui pourront posséder un logement dédié à la recharge. Cet argument de vente peut attirer les personnes devant ou désirant être mobiles et connectées.

## X. L'avenir de cette technologie

La transmission d'énergie sans fil est déjà fonctionnelle pour la recharge des brosses à dents électriques et des téléphones portables. Cependant d'autres utilisations de cette technologie commencent à voir le jour, dans différents domaines.

### 1. Le domaine automobile

Des essais d'adaptation de cette technologie à plus forte puissance est en développement pour recharger les voitures électriques et hybrides les rendant plus attrayantes.

Nous pouvons citer la marque automobile Volvo™ et l'entreprise Flanders' Drive™ qui ont travaillé sur une Volvo C30 pour adapter un système de recharge sans contact intégré à la route et espère à terme pouvoir l'intégrer aux bus.<sup>45</sup>



Image 1 : Au premier plan la cellule de recharge, et en arrière-plan la voiture servant aux tests.<sup>46</sup>

L'équipementier automobile Delphi™ et la société WiTricity™ ont développé un module de recharge sans fil : le WiT-3300. Il utilise la résonance magnétique aux alentours de 145kHz pour pouvoir transférer une puissance entre 300 et 3300 watts.<sup>47 48 49</sup>

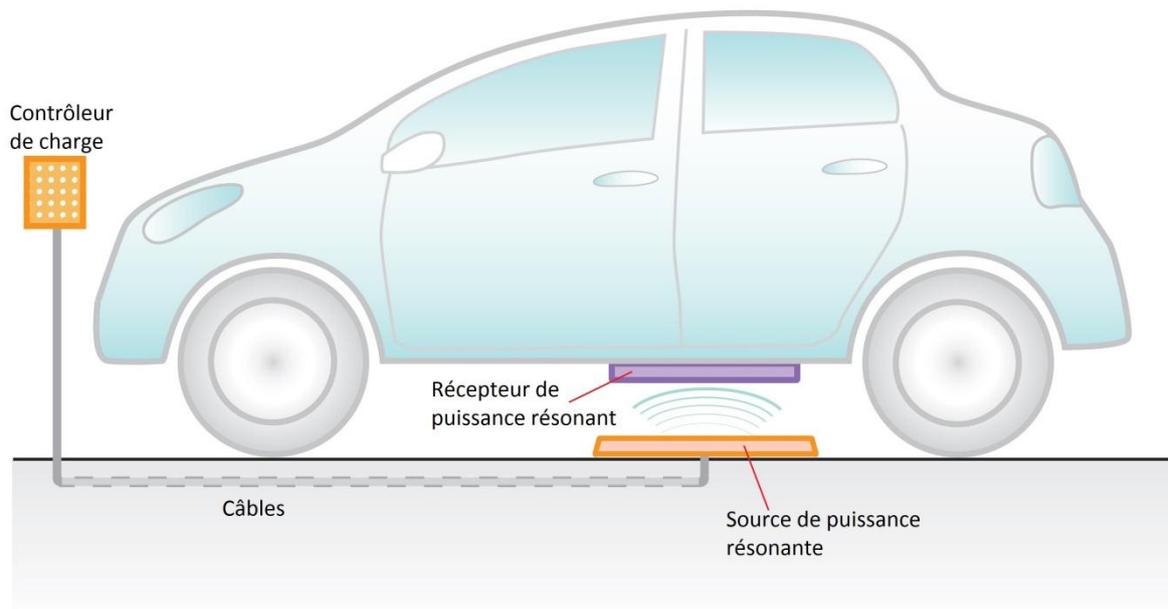


Schéma 2 : Représentation du système Wit-3300 sur une voiture.<sup>50</sup>

De plus, Renault™ et Qualcomm™ ont signé le 24 juillet 2012 un protocole d'accord sur la technologie de recharge sans fil de véhicule électrique.<sup>51</sup>

En somme, le domaine de l'automobile est fortement intéressé par la transmission d'énergie sans fil, aussi bien pour que l'utilisateur recharge son téléphone portable en le plaçant simplement à l'endroit prévu, que pour la recharge de la voiture elle-même si elle est électrique ou hybride. Cette dernière utilité permettra certainement aux véhicules électriques d'être moins contraignant à recharger, à augmenter l'autonomie grâce à une recharge continue par le biais d'une route aménagée et donc être une réelle alternative face aux véhicules thermiques.

## 2. Les produits grand public

Le constructeur chinois Haier™ a présenté au salon de l'IFA 2012 à Berlin, une télévision et un socle permettant d'échanger un flux vidéo de haute définition en trois dimensions ainsi que l'énergie nécessaire au fonctionnement du téléviseur. Ce produit utilise la norme Wireless Home Digital Interface pour l'échange du flux vidéo.<sup>52</sup>

Le constructeur Panasonic™ a présenté la même année au salon de Berlin une table à induction pour pouvoir cuisiner mais aussi pour alimenter sans fil un presse-agrumes ou un mixeur.<sup>53</sup>



Image 2 Le mixeur sur la plaque à induction.

### 3. Le milieu médical

Le domaine médical profitera aussi de la recharge sans-fil, notamment pour les stimulateurs cardiaques. Tous les 5 à 7 ans un changement de batterie doit être effectué pour que le stimulateur soit toujours sous tension, cette opération est identique à celle de la pose du stimulateur. Pour éviter cette lourde opération, la transmission d'énergie sans fil permettra de recharger la batterie et ainsi de repousser la date de l'opération.<sup>54</sup>



Image 3 : Un stimulateur cardiaque ainsi qu'une bobine prototype.<sup>55</sup>

### 4. Le domaine spatial<sup>56</sup>

Au vu de la demande croissante d'électricité dans le monde, les ingénieurs américains ont réfléchi à la possibilité d'une centrale solaire orbitale, le principe est d'envoyer une station avec des panneaux solaires pour produire de l'énergie et la transférer à la terre grâce à la transmission d'énergie sans fil

Les tests sur le rendement d'une transmission sans fil ont été faits en 1975 dans la bande de fréquence correspondante aux micro-ondes. Le rendement total est de 54% sur 1.55Km.

Ce rendement reste correct pour une telle distance, cependant le fait d'utiliser les micro-ondes est dangereux pour les êtres vivants.

Une amélioration potentielle serait l'utilisation de la résonance magnétique pour augmenter le rendement.

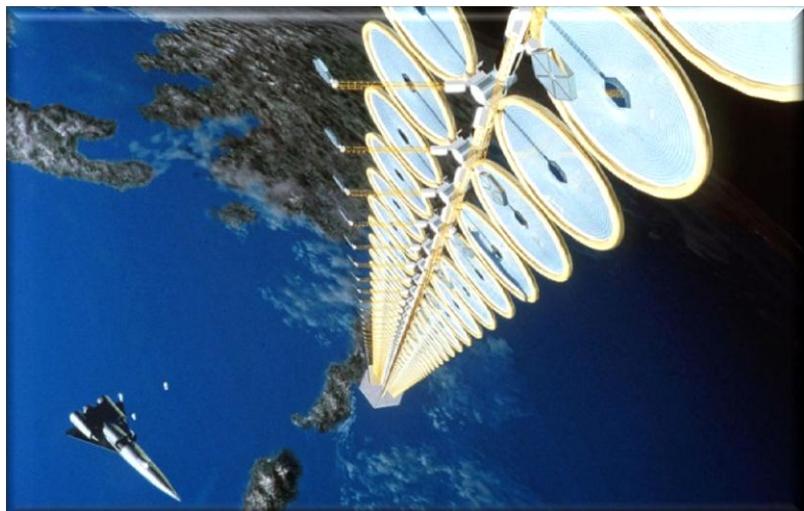


Figure 41: Image de synthèse

## **XI. Conclusion**

Cette technologie est intéressante à étudier même si dans cette utilisation, elle est entravée par plusieurs désavantages, notamment le rendement et l'éventuel risque pour la santé. Cependant le fait qu'elle soit grand public permet d'évaluer si les consommateurs sont prêts à accepter la technologie de recharge sans fil qui pourra être adaptée sur d'autres produits grand public et à plus forte puissance.

De nouveaux projets sont en cours d'étude, notamment un chargeur sans fil de 120W. Cette puissance correspond à l'alimentation d'un PC Portable, Aspirateur à main et autres équipements de moyenne puissance. Néanmoins il reste à qualifier le chargeur en termes de d'émission électromagnétique afin que celui-ci ne soit pas nocif pour l'humain et n'interfère pas avec les autres équipements électroniques.

Concernant la conception de chargeur sans fil, de nombreux composants intégrés facilitent le design du système aussi bien au secondaire qu'au primaire. Texas Instrument propose ainsi plusieurs circuits intégrés compatibles avec les différentes normes comme le BQ 500410a ou le BQ51013.

Cette technologie pourra être massivement utilisée dans le futur, puisqu'elle simplifie l'utilisation des appareils compatibles. Néanmoins le rendement est un facteur limitant dans une période où la consommation d'électricité est un problème majeur dans l'écologie mais aussi au niveau financier du foyer, augmentant la facture d'énergie.

## XII. Annexe

### Etude d'une structure de type Buck

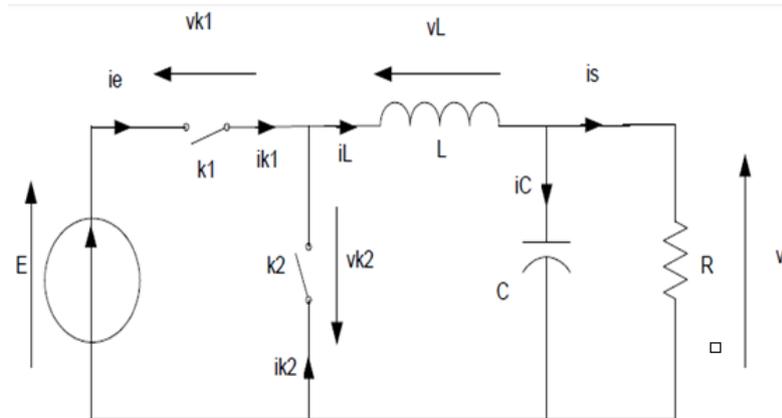
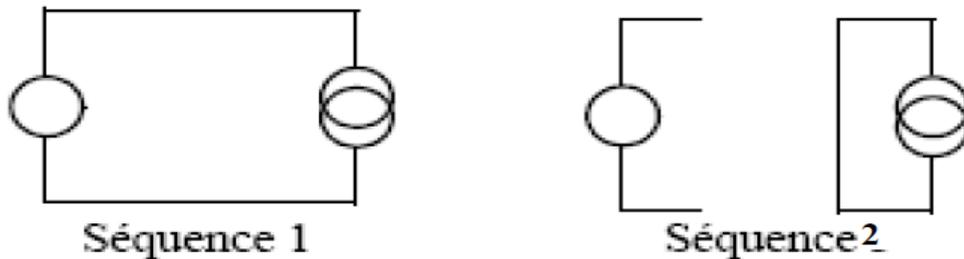


Figure 42: Schéma du hacheur

La source d'entrée du montage est une tension continue de 325V, en sortie nous devons obtenir une tension de 19V.

Le coefficient d'abaissement est donc  $\alpha = \frac{19}{325} \approx 0.06$

La résistance R du schéma nous sert à fixer le courant de sortie à 2.5A pour répondre à la norme Qi.



K1 : ON K2 : OFF

K1 : OFF K2 : ON

Figure 43: Représentation des deux séquences de fonctionnement

Etude des deux séquences :

$$\begin{aligned} V_{k1} &= 0V ; I_{k1} = I_L \\ V_{k2} &= 0V ; I_{k2} = I_L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{k1} &= E ; I_{k1} = 0A \\ V_{k2} &= -E ; I_{k1} = 0A \end{aligned}$$

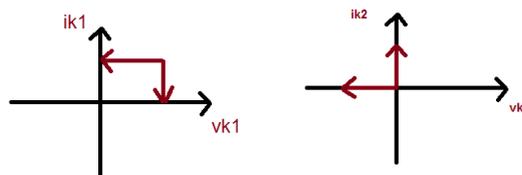


Figure 44: Commutation courant / tension

La commutation de l'interrupteur K1 correspond à un MOSFET, la commutation de l'interrupteur K2 correspond à une diode.

Nous ajoutons donc ces composants au schéma de la figure 5.

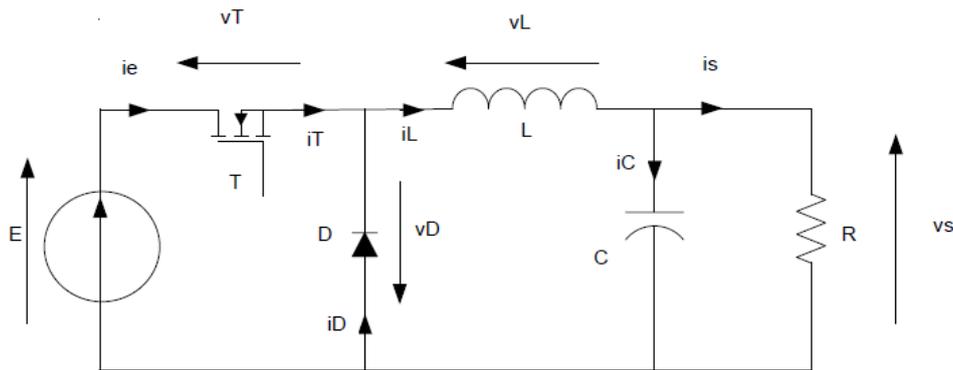


Figure 45: Schéma complet du hacheur

Etude du convertisseur :

Loi des mailles et des nœuds :

- $E - V_T + V_D = 0$  ;  $E - V_T - V_L - V_S = 0$  ;  $V_S + V_L + V_D = 0$
- $I_L - I_S - I_C = 0$  ;  $I_T + I_D - I_L = 0$

Etude de la première séquence :

$$0 \leq t \leq T_{ON} = \alpha \cdot T$$

- $V_T = 0V$  et  $V_D = -E$
- $I_T = I_L$  et  $I_D = 0A$

$$V_L = E - V_S \text{ or } v_L = L * \frac{di_L}{dt} \text{ donc } i_L = \frac{1}{L} \int v_L \cdot dt$$

$$\text{Hypothèses : } v_S = V_S = \text{cste donc } i_L = \frac{E - V_S}{L} * t + I_{Lmin}$$

Etude de la deuxième séquence :

$$T_{ON} \leq t' \leq T \text{ avec } t' = t - T_{ON}$$

- $V_T = E$  et  $V_D = 0V$
- $I_T = 0A$  et  $I_D = I_L$

$$v_L = -v_S \text{ or } v_L = L * \frac{di_L}{dt} \text{ donc } i_L = \frac{1}{L} \int v_L \cdot dt$$

$$\text{Hypothèses : } v_S = V_S = \text{cste donc } i_L = \frac{-V_S}{L} * t' + I_{Lmax}$$

Chronogrammes :

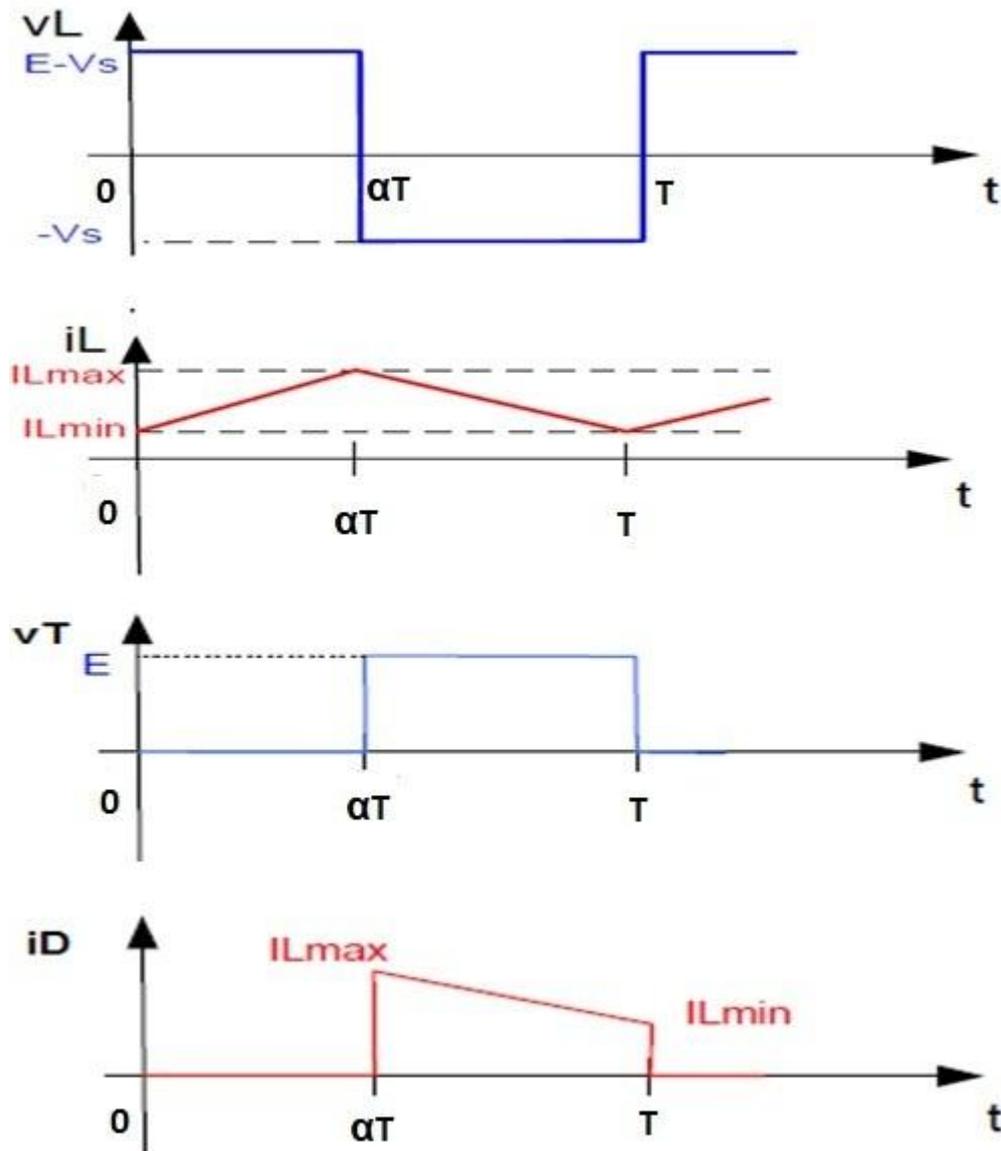


Figure 46: Chronogrammes du fonctionnement pour une période

Calcul de la tension  $V_s$  :

La tension moyenne aux bornes d'une bobine étant nulle on obtient :

$$\begin{aligned} \langle V_L \rangle &= 0 \\ \langle V_L \rangle &= \frac{1}{T} \int_0^T v_L \cdot dt = 0 \\ \langle V_L \rangle &= \frac{1}{T} \left[ \int_0^{\alpha T} (E - v_S) dt - \int_{\alpha T}^T v_S \cdot dt \right] = 0 \\ \langle V_L \rangle &= \frac{1}{T} [(E - V_S)\alpha T - V_S(1 - \alpha)T] \\ \langle V_L \rangle &= \alpha E - \alpha V_S - V_S + \alpha V_S = 0 \\ \langle V_L \rangle &= \alpha E - V_S = 0 \end{aligned}$$

Donc  $V_S = E \cdot \alpha$

Calcul de l'ondulation du courant :

$$\begin{aligned} \Delta I_L &= I_{Lmax} - I_{Lmin} \\ \text{à } t &= T_{ON} = \alpha T \\ I_{Lmax} &= \frac{E - V_S}{L} * \alpha T + I_{Lmin} \\ I_{Lmax} - I_{Lmin} &= \frac{E - V_S}{L} * \alpha T \text{ or } V_S = E * \alpha \text{ et } T = \frac{1}{f} \end{aligned}$$

Ainsi  $\Delta I_L = \frac{E \cdot (1 - \alpha) \cdot \alpha}{L \cdot f}$  et  $L = \frac{E \cdot (1 - \alpha) \cdot \alpha}{\Delta I_L \cdot f}$

A.N. :  $L_1 = \frac{325 \cdot (1 - 0.06) \cdot 0.06}{0.2 * 205 * 10^3} = 447 \mu H$

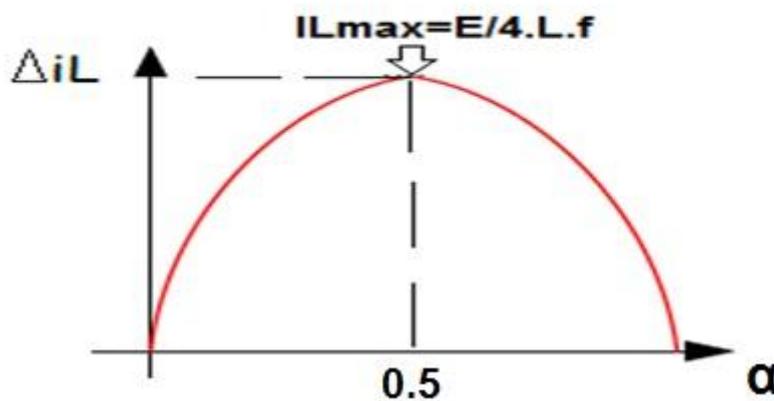


Figure 47: représentation de l'ondulation suivant  $\alpha$

Calcul de l'ondulation de la tension :

$$\Delta v_S = V_{Smax} - V_{Smin}$$

$$\Delta i_L = i_C = C * \frac{d(\Delta v_S)}{dt}$$

$$i_C = C * \frac{d(\Delta v_S)}{dt}$$

$$\Delta i_L = C * \frac{d(\Delta v_S)}{dt}$$

$$\int \Delta i_L . dt = C * \int \frac{d(\Delta v_S)}{dt}$$

$$\int_{i_1}^{i_2} \Delta i_L . dt = C * \int_{V_{Smin}}^{V_{Smax}} \frac{d(\Delta v_S)}{dt}$$

$$\Delta V_S = V_{Smax} - V_{Smin}$$

$$\Delta V_S = \frac{1}{c} . \left[ \frac{1}{2} . \frac{\alpha.T}{2} . \frac{\Delta i_L}{2} + \frac{1}{2} . \frac{T-\alpha T}{2} . \frac{\Delta i_L}{2} \right]$$

$$\Delta V_S = \frac{\Delta i_L}{8.C.f} \quad \text{Et} \quad C = \frac{\Delta i_L}{8.\Delta V_S.f}$$

A.N. :  $C_2 = \frac{0.2}{8*1*205*10^3} = 122 \text{ nF}$

### XIII. Référence

- <sup>1</sup> PEREIRA Miguel, ROGIER Adrien, VOCANSON Julien, s.d, Les Ondes Electromagnétiques, [En Ligne], <http://nocivitedesondes.free.fr/page11.html>, consulté le 10/11/2013.
- <sup>2</sup> Université de Technologie de Compiègne, 05/2011, Heinrich Rudolf Hertz, [En Ligne], document pdf, <http://www.utc.fr/~tthomass/Themes/Unites/Hommes/her/Heinrich%20Hertz.pdf>, consulté le 10/11/2013.
- <sup>3</sup> Université de Technologie de Compiègne, 05/2011, Heinrich Rudolf Hertz, [En Ligne], document pdf, <http://www.utc.fr/~tthomass/Themes/Unites/Hommes/her/Heinrich%20Hertz.pdf>, consulté le 10/11/2013.
- <sup>4</sup> Université de Technologie de Compiègne, 08/2009, Nikola Tesla, [En Ligne], document pdf, <http://www.utc.fr/~tthomass/Themes/Unites/Hommes/tesl/Nikola%20Tesla.pdf>, consulté le 10/11/2013.
- <sup>5</sup> Université de Technologie de Compiègne, 08/2009, Nikola Tesla, [En Ligne], document pdf, <http://www.utc.fr/~tthomass/Themes/Unites/Hommes/tesl/Nikola%20Tesla.pdf>, consulté le 10/11/2013.
- <sup>6</sup> SBSP, 10/03/2008, 1975 NASA JPL Goldstone Demonstration of Wireless Power Transmission, [En Ligne], <http://c-sbsp.org/2008/03/10/1975-nasa-jpl-goldstone-demonstration-of-wireless-power-transmission/>, consulté le 11/11/2013.
- <sup>7</sup> Jonathan Fildes, 07/06/2007, Wireless energy promise powers up , [En Ligne], <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/6725955.stm>, consulté le 11/11/2013.
- <sup>8</sup> Jonathan Fildes, 07/06/2007, Wireless energy promise powers up , [En Ligne], <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/6725955.stm>, consulté le 11/11/2013.
- <sup>9</sup> We are mobians, 07/2013, starbucks Duracell wireless charging, [Image numérique] , <http://wearmobians.com/wp-content/uploads/2013/07/starbucks-duracell-wireless-charging.jpg>, consulté le 02/12/2013.
- <sup>10</sup> WPC, s.d, ecosystem, [Image numérique], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/data/images/2/0/6/ecosystem.jpg>, consulté le 04/12/2013  
Issu de cette page : <http://www.wirelesspowerconsortium.com/blog/category/9/wireless-power-industry>.
- <sup>11</sup> Emily PRICE, 11/02/2014, New wireless charging partnerships could mean fewer cables in your junk drawer, [En Ligne], <http://www.engadget.com/2014/02/11/alliance-for-wireless-power-partners/>, consulté 15/02/2014.
- <sup>12</sup> Ismini Scouras, 13/02/2014, Wireless Power Startup WiTricity Joins A4WP Board, [En Ligne], [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1321001](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1321001), consulté 15/02/2014.
- <sup>13</sup> Jean Elyan, 13/02/2014, Recharge sans fil : bataille des consortiums pour imposer un standard, [En Ligne], <http://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-recharge-sans-fil-bataille-des-consortiums-pour-imposer-un-standard-56559.html>, consulté le 15/02/2014.
- <sup>14</sup> PMA, 11/02/2014, Alliance for Wireless Power and Power Matters Alliance Join Forces, [En Ligne], <http://www.powermatters.org/menues/314-alliance-for-wireless-power-and-power-matters-alliance-join-forces>, consulté le 15/02/2014.
- <sup>15</sup> WPC, s.d, Wireless Power Consortium Members, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/member-list/>, consulté le 06/12/2013.
- <sup>16</sup> A4WP, s.d, Members, [En Ligne], <https://www.rezence.com/alliance/current-members>, consulté le 15/02/2015.
- <sup>17</sup> PMA, s.d, Members, [En Ligne], [http://www.powermatters.org/members?sort=link\\_name&cf29=&cf33=&cf30=&link\\_name=&option=com\\_mt\\_ree&task=listall&cat\\_id=0&Itemid=120](http://www.powermatters.org/members?sort=link_name&cf29=&cf33=&cf30=&link_name=&option=com_mt_ree&task=listall&cat_id=0&Itemid=120), consulté le 08/12/2013.
- <sup>18</sup> Olivier FRANCAIS, 2000, GRANDEURS FONDAMENTALES DE L'ÉLECTROMAGNETISME, [En Ligne], <http://www.esiee.fr/~francaio/enseignement/magnetisme2.pdf>, consulté le 10/12/2013.
- <sup>19</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/>, consulté le 05/12/2013.
- <sup>20</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/total-energy-consumption.html>, consulté le 05/12/2013.
- <sup>21</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/basic-principle-of-inductive-power-transmission.html>, consulté le 06/12/2013.
- <sup>22</sup> Bill Johns, Tony Antonacci, Kalyan Siddabattula, 2012, Designing a Qi-compliant receiver coil

- for wireless power systems, Part 1, [En Ligne], document PDF, <http://www.mouser.com/pdfDocs/TI-Designing-a-Qi-compliant-receiver-coil.pdf>, consulté le 01/12/2013.
- <sup>23</sup> Bill Johns, Tony Antonacci, Kalyan Siddabattula, 2012, Designing a Qi-compliant receiver coil for wireless power systems, Part 1, [En Ligne], document PDF, <http://www.mouser.com/pdfDocs/TI-Designing-a-Qi-compliant-receiver-coil.pdf>, consulté le 01/12/2013.
- <sup>24</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/basic-principle-of-inductive-power-transmission.html>, consulté le 06/12/2013.
- <sup>25</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/coupling-factor.html>, consulté le 06/12/2013.
- <sup>26</sup> Bill Johns, Tony Antonacci, Kalyan Siddabattula, 2012, Designing a Qi-compliant receiver coil for wireless power systems, Part 1, [En Ligne], document PDF, <http://www.mouser.com/pdfDocs/TI-Designing-a-Qi-compliant-receiver-coil.pdf>, consulté le 01/12/2013.
- <sup>27</sup> Bill Johns, Tony Antonacci, Kalyan Siddabattula, 2012, Designing a Qi-compliant receiver coil for wireless power systems, Part 1, [En Ligne], document PDF, <http://www.mouser.com/pdfDocs/TI-Designing-a-Qi-compliant-receiver-coil.pdf>, consulté le 01/12/2013.
- <sup>28</sup> Bill Johns, Tony Antonacci, Kalyan Siddabattula, 2012, Designing a Qi-compliant receiver coil for wireless power systems, Part 1, [En Ligne], document PDF, <http://www.mouser.com/pdfDocs/TI-Designing-a-Qi-compliant-receiver-coil.pdf>, consulté le 01/12/2013.
- <sup>29</sup> Bill Johns, Tony Antonacci, Kalyan Siddabattula, 2012, Designing a Qi-compliant receiver coil for wireless power systems, Part 1, [En Ligne], document PDF, <http://www.mouser.com/pdfDocs/TI-Designing-a-Qi-compliant-receiver-coil.pdf>, consulté le 01/12/2013.
- <sup>30</sup> Bill Johns, Tony Antonacci, Kalyan Siddabattula, 2012, Designing a Qi-compliant receiver coil for wireless power systems, Part 1, [En Ligne], document PDF, <http://www.mouser.com/pdfDocs/TI-Designing-a-Qi-compliant-receiver-coil.pdf>, consulté le 01/12/2013.
- <sup>31</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/quality-factor.html>, consulté le 07/12/2013.
- <sup>32</sup> Bill Johns, Tony Antonacci, Kalyan Siddabattula, 2012, Designing a Qi-compliant receiver coil for wireless power systems, Part 1, [En Ligne], document PDF, <http://www.mouser.com/pdfDocs/TI-Designing-a-Qi-compliant-receiver-coil.pdf>, consulté le 01/12/2013.
- <sup>33</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/figure-of-merit-for-power-loss.html>, consulté le 06/12/2013.
- <sup>34</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/figure-of-merit-for-power-loss.html>, consulté le 06/12/2013.
- <sup>35</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/transfer-efficiency.html>, consulté le 06/12/2013.
- <sup>36</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/transfer-efficiency.html>, consulté le 06/12/2013.
- <sup>37</sup> Bill Johns, 2011, An introduction to the Wireless Power Consortium standard and TI's compliant solutions, Part 1, [En Ligne], document PDF, <http://www.ti.com/lit/an/slyt401/slyt401.pdf>, consulté le 25/11/2013.
- <sup>38</sup> Wireless Power Consortium, s.d, [Document à télécharger En Ligne], <http://www.wirelesspowerconsortium.com/>, consulté le 16/11/2013.
- <sup>39</sup> C'est la norme Qi qui informe la valeur de la tension, p14.
- <sup>40</sup> Battery University Isidor Buchmann (PDG de Cadex Electronics <http://www.cadex.com/>), s.d, Li-polymer Battery: Substance or Hype?, [En Ligne], [www.batteryuniversity.com/learn/article/the-li-polymer-battery-substance-or-hype](http://www.batteryuniversity.com/learn/article/the-li-polymer-battery-substance-or-hype), consulté le 05/02/2014.

- <sup>41</sup> Battery University Isidor Buchmann(PDG de Cadex Electronics, s.d, Types of Lithium-ion, [En Ligne], [www.batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://www.batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion) , consulté le 05/02/2014.
- <sup>42</sup> Battery University Isidor Buchmann(PDG de Cadex Electronics, s.d, Comparison Table of Secondary Batteries, [En Ligne], [www.batteryuniversity.com/learn/article/secondary\\_batteries](http://www.batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries), consulté le 05/02/2014.
- <sup>43</sup>iGenius, 21/09/2012, L'iPhone 5 complètement démonté : écran facile à changer, batterie plus imposante, puce 4G LTE..., [Image Numérique], <http://www.iphon.fr/post/demontage-iphone-5-caracteristiques-techniques>, consulté le 05/02/2014.
- <sup>44</sup> Apple, sd, Batteries lithium-ion, [En Ligne], <https://www.apple.com/fr/batteries/>, consulté le 05/02/2014.
- <sup>45</sup>Flanders' DRIVE, 25/06/2013, Flanders' DRIVE research proves it: wireless charging of electric vehicles is feasible, safe and user-friendly, [En Ligne], <http://www.flandersdrive.be/en/about-us/press/25062013-flanders%E2%80%99-drive-research-proves-it-wireless-charging-electric-vehicles>, consulté le 26/11/2013.
- <sup>46</sup>Morgan, 26/10/2013, Un système de rechargement sans fil chez Volvo, [En Ligne], <http://www.gizmodo.fr/2013/10/26/systeme-rechargement-sans-fil-volvo.html>, consulté le 15/12/2013.
- <sup>47</sup>WiTricity, s.d, WiT-3300, [En Ligne], <http://www.witricity.com/pages/ev-charging-system.html>, consulté le 15/12/2013.
- <sup>48</sup>WiTricity, s.d, WiT-3300 Deployment Kit, [En Ligne], document PDF, [http://www.witricity.com/pdfs/WiT-3300\\_data\\_sheet.pdf](http://www.witricity.com/pdfs/WiT-3300_data_sheet.pdf), consulté le 17/12/2013.
- <sup>49</sup>Mich Troy, 29/09/2010, Delphi Working to Make Electric Vehicle Wireless Charging a Reality, [En Ligne], [https://delphi.com/about/news/media/pressReleases/pr\\_2010\\_09\\_29\\_001/](https://delphi.com/about/news/media/pressReleases/pr_2010_09_29_001/), consulté le 22/12/2013.
- <sup>50</sup> Mich Troy, 29/09/2010, Delphi Working to Make Electric Vehicle Wireless Charging a Reality, [En Ligne], [https://delphi.com/about/news/media/pressReleases/pr\\_2010\\_09\\_29\\_001/](https://delphi.com/about/news/media/pressReleases/pr_2010_09_29_001/), consulté le 22/12/2013.
- <sup>51</sup>ID :33180, 24/07/2012, Qualcomm et Renault annoncent la signature d'un protocole d'accord sur la technologie de recharge sans fil de véhicule électrique, [En Ligne], <http://media.renault.com/global/fr-fr/renaultgroup/Media/PressRelease.aspx?mediaid=33180>, consulté le 28/12/2013.
- <sup>52</sup>Pierre Dubarry, 01/08/2012, Haier: une TV 3D sans fil (WHDI) présentée à l'IFA, [En Ligne], [http://www.haier.com/fr/actualitepresse/dans\\_la\\_presse/201208/t20120804\\_140678.shtml](http://www.haier.com/fr/actualitepresse/dans_la_presse/201208/t20120804_140678.shtml), consulté le 05/01/2014.
- <sup>53</sup>Bienchoisirmonoelectromenager.com, 30/09/2012, Spécial Ifa 2012. Panasonic, bientôt une gamme de tables à induction en Europe, et plus encore !, [En Ligne], <http://www.bienchoisirmonoelectromenager.com/special-ifa-2012-panasonic-bientot-une-gamme-tables-induction-europe-plus-encore>, consulté le 05/01/2014.
- <sup>54</sup>MiTPortugal, s.d, A Portuguese fast transcutaneous non-invasive battery recharger and energy feeder for electronic implants, [En Ligne], <http://www.mitportugal.org/press-releases/a-portuguese-fast-transcutaneous-non-invasive-battery-recharger-and-energy-feeder-for-electronic-implants.html>, consulté le 05/01/2014.
- <sup>55</sup> MiTPortugal, s.d, A Portuguese fast transcutaneous non-invasive battery recharger and energy feeder for electronic implants, [En Ligne], <http://www.mitportugal.org/press-releases/a-portuguese-fast-transcutaneous-non-invasive-battery-recharger-and-energy-feeder-for-electronic-implants.html>, consulté le 05/01/2014.
- <sup>56</sup> Sans auteur, s.d, [En Ligne], <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Suntower.jpg>, consulté le 07/01/2014.