



Transfert d'énergie par induction

1

Numéro du candidat: 12020

TIPE: ENJEUX SOCIÉTAUX: Énergie Sécurité Environnement

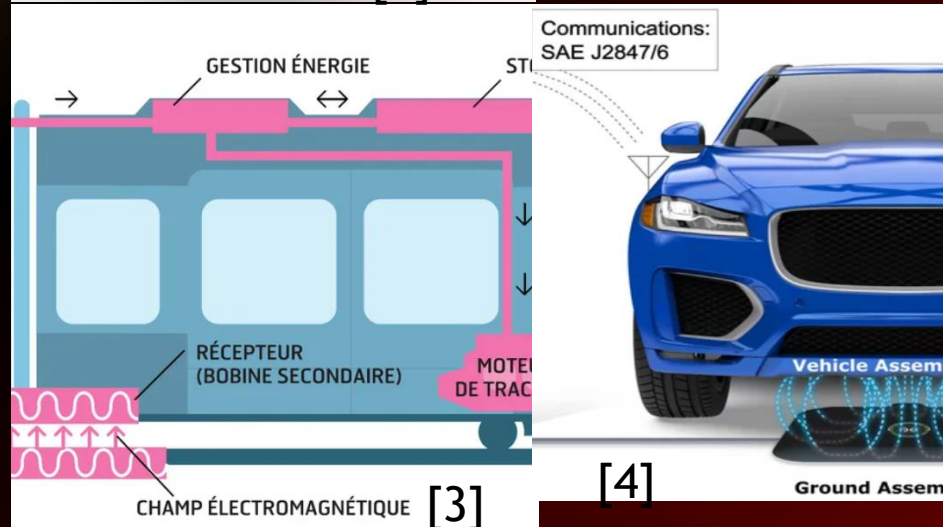
INTRODUCTION

- Quelques utilités du transfert d'énergie sans fil:

Application domestique:



Dans le domaine industriel:



PLAN:

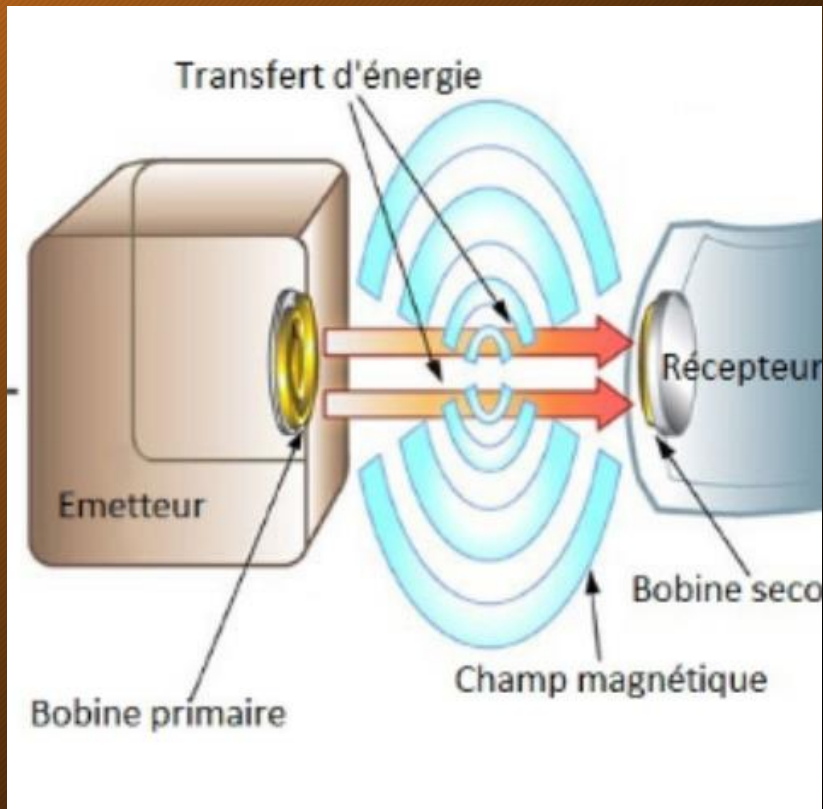
3

- I- Le transfert de puissance par des circuits résonants couplés
- II-Modélisation et mise en évidence du transfert de puissance
- III-Les limites et les contraintes de la transmission sans fils

I-Transfert de puissance par couplage magnétique

4

- Couplage magnétique inductif:



Le couplage magnétique inductif fonctionne sur des distances très faibles (en champ proche), typiquement de l'ordre de quelques centimètres, mais se caractérise par un très bon rendement.

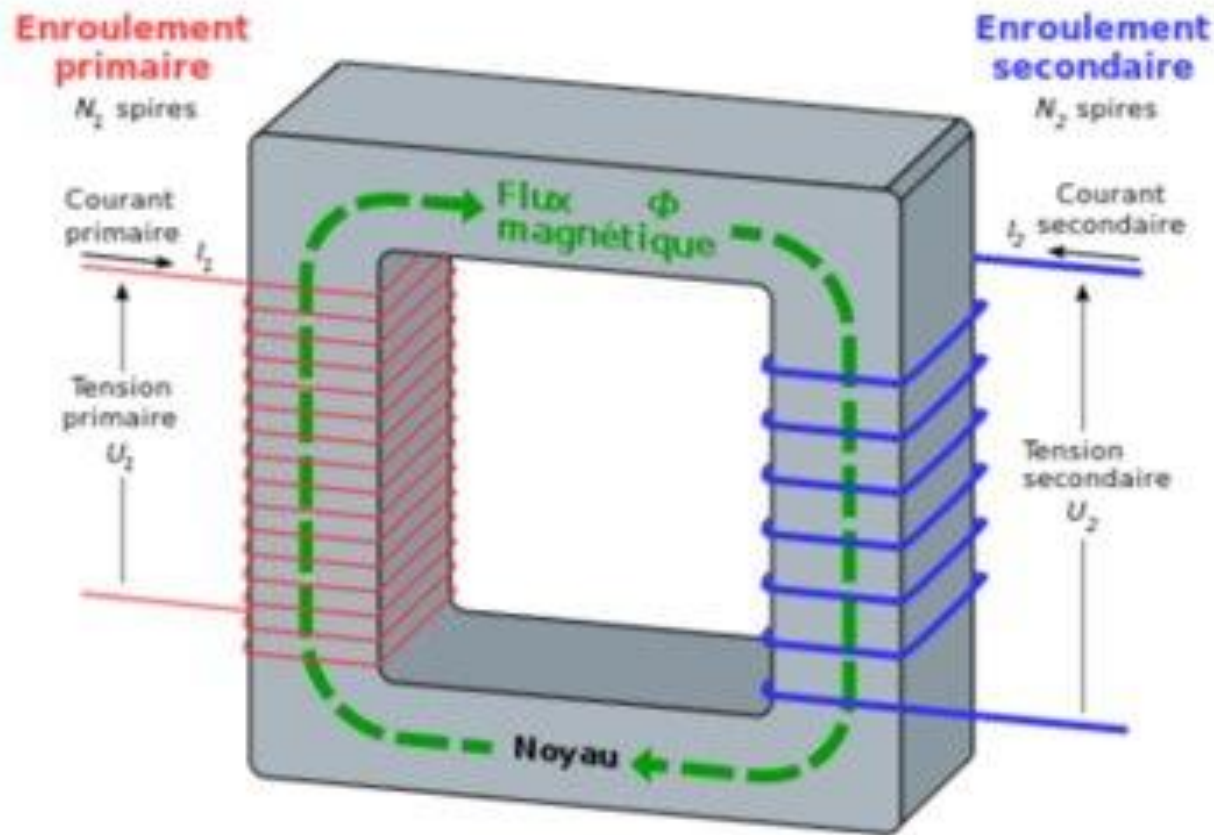
Cette technique est largement utilisée pour la recharge sans fil de la batterie interne de dispositifs grand public tels que des brosses à dents électriques ou des souris sans fil. Le transfert de puissance est réalisé généralement via l'induction magnétique entre deux bobines à air.

- Couplage magnétique avec résonance

En champ limité, le transfert d'énergie entre deux structures se fait généralement par un couplage magnétique résonant.

Par ailleurs l'on travaille avec des fréquences faibles (de l'ordre de quelques MHz), ce qui rend assez gênants l'émetteur et le récepteur.

Un transfert efficace de puissance peut être effectué en utilisant deux ou plusieurs objets résonant à la même fréquence.



Le couplage inductif résonant est plus efficace que celui non résonant. L'amélioration est due à l'utilisation du régime de couplage fort des objets résonants, ce qui permet de maximiser le transfert.

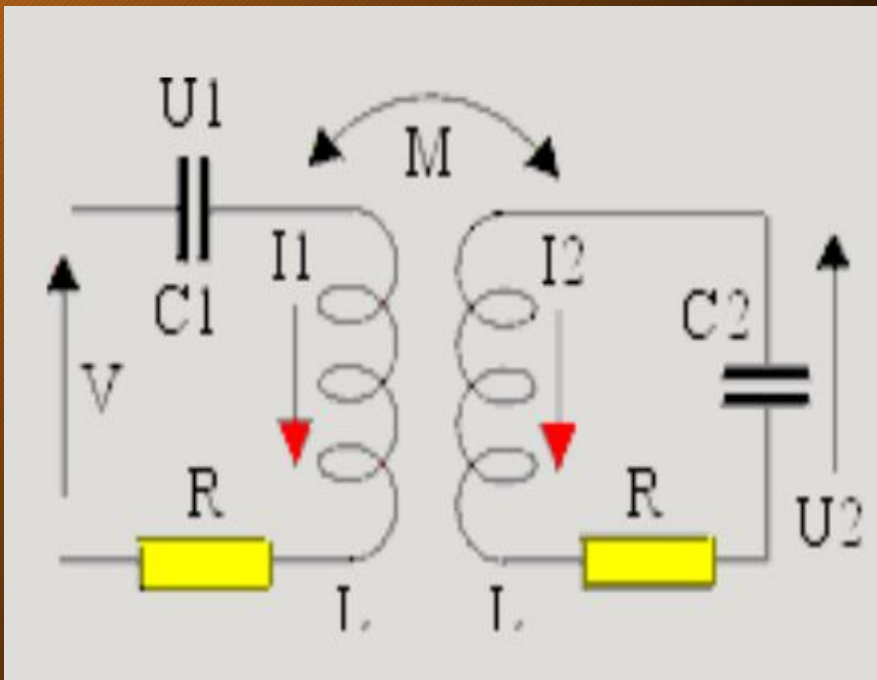
Source:

<https://hugodlh1s1.wixsite.com/tpe1s1/single-post/2017/01/23/introduction-de-notre-projet>

II-Modélisation et mise en évidence du transfert de puissance:

7

■ Cas d'un couplage résonant:



Considérant que $C_1 = C_2$

Cherchons la fonction de transfert $H(j\omega) = \frac{U_R}{V}$

On a:

$$e_1 = -L \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \text{ et } e_2 = -L \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$$

En raisonnant par un calcul complexe on obtient:

$$* e_2 = U_{R(2)} + U_2 \Rightarrow e_2 = Ri_2 + \frac{i_2}{jC\omega}$$

$$\Rightarrow -Lj\omega i_2 - Mj\omega i_1 = Ri_2 + \frac{i_2}{jC\omega} \quad (1)$$

$$* e_1 + V = U_{R(1)} + U_1 \Rightarrow -Lj\omega i_1 - Mj\omega i_2 + V = Ri_1 + \frac{i_1}{jC\omega} \quad (2)$$

$$(1) \Rightarrow (R + jL\omega + \frac{1}{jC\omega}) \frac{i_2}{V} + j\omega M \frac{i_1}{V} = 0$$

$$(2) \Rightarrow (R + \frac{1}{jC\omega} + jL\omega) \frac{i_1}{V} + j\omega M \frac{i_2}{V} = 1$$

On obtient :

$$[(R + jLw + \frac{1}{jCw})^2 + M^2w^2] \frac{i_2}{V} = -jMw$$

$$\Rightarrow [(R + j(Lw - \frac{1}{Cw}))^2 + M^2w^2] \frac{i_2}{V} = -jMw \quad (3) \quad \text{Or } U_{R(2)} = Ri_2 \Rightarrow \frac{U_{R(2)}}{V} = R \frac{i_2}{V}$$

Donc,

$$H(jw) = \frac{U_{R(2)}}{V} = \frac{-jRMw}{[(R + j(Lw - \frac{1}{Cw}))^2 + M^2w^2]} = \frac{-jRMw}{R^2 + 2jR(Lw - \frac{1}{Cw}) + \frac{2L}{C} - \frac{1}{C^2w^2} + (M^2 - L^2)w^2}$$

Nature du filtre:

A haute fréquence: $w \rightarrow \infty$, $|H(jw)| \rightarrow 0$ donc le filtre ne laisse pas passer les hautes fréquences

A basse fréquence: $w \rightarrow 0$, $|H(jw)| \rightarrow 0$ donc le filtre ne laisse pas passer les basses fréquences

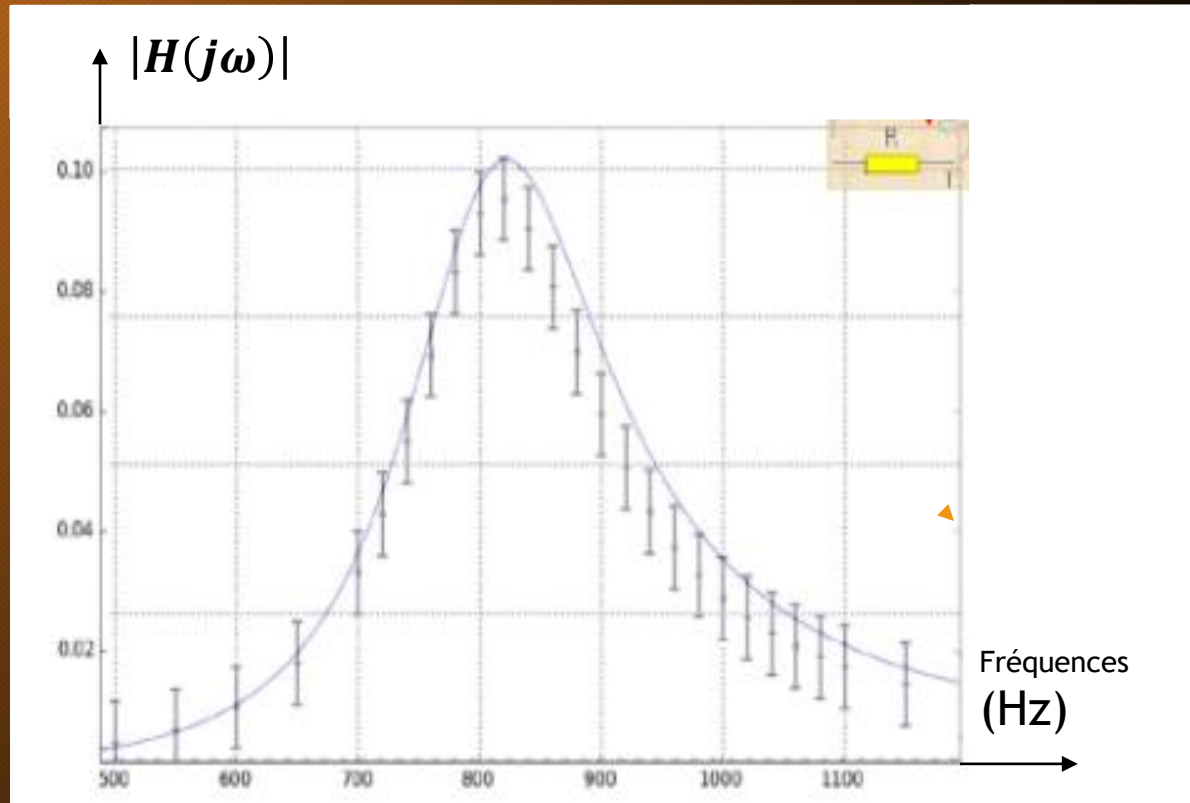
Il s'agit donc d'un filtre passe-bande.

La forme canonique de la fonction de transfert est de la forme: $\frac{Aj \frac{w}{w_0}}{1 + j \frac{w}{Q w_0} + (j \frac{w}{w_0})^2}$

La fréquence à la résonance est égale à :

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Diagramme de $|H(j\omega)|$ en fonction de la fréquence $f=\frac{2\pi}{w}$:



Représentation de la fonction de transfert pour choix arbitraire de L et C

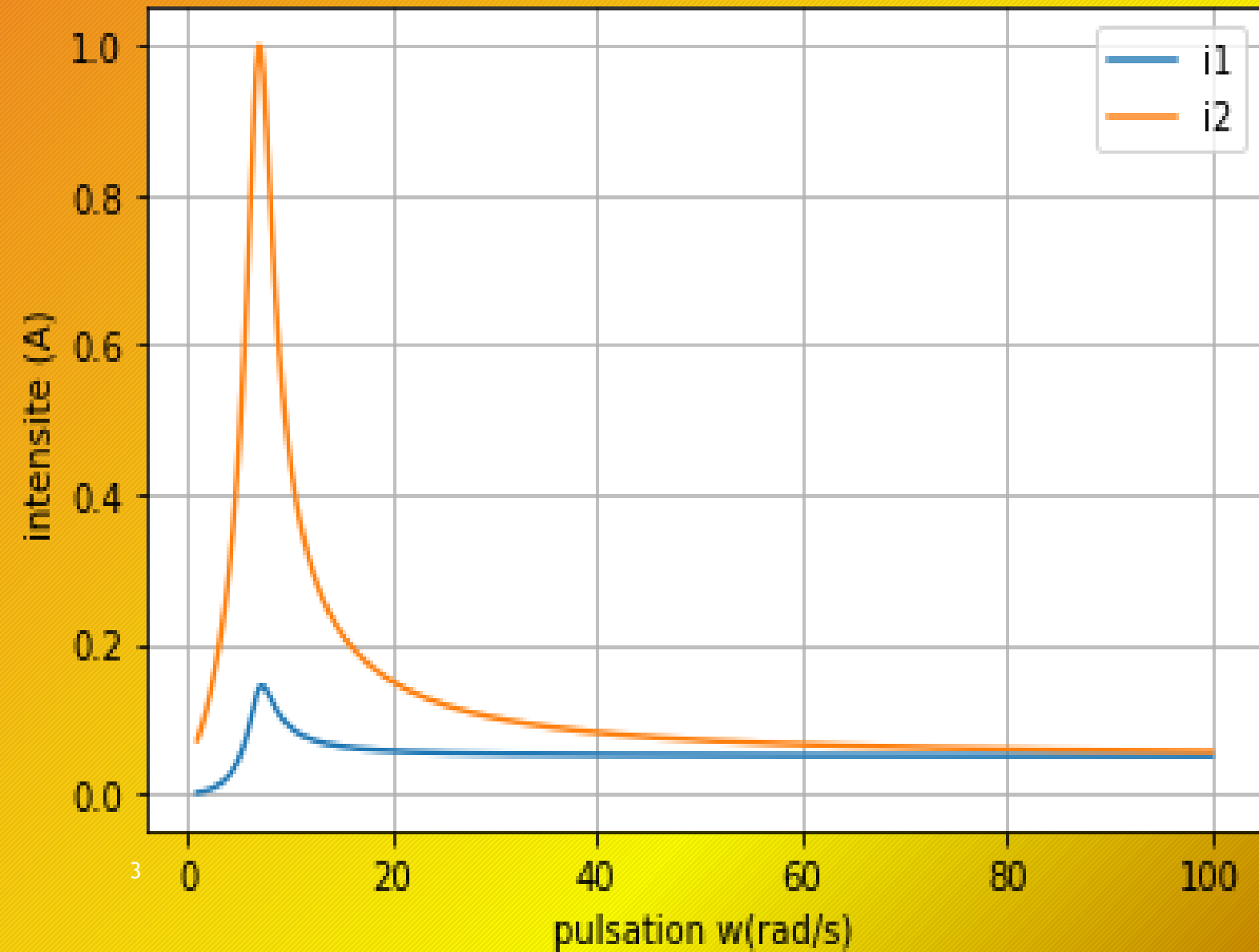
$$(3) \Rightarrow i_2 = \frac{|-jMw|}{\sqrt{(R^2 - (Lw - \frac{1}{Cw})^2 + M^2w^2)^2 + 4R^2(Lw - \frac{1}{Cw})^2}}$$

$$\Rightarrow i_2 = \frac{Mw}{\sqrt{(R^2 - (Lw - \frac{1}{Cw})^2 + M^2w^2)^2 + 4R^2(Lw - \frac{1}{Cw})^2}}$$

$$\text{Par ailleurs, } i_1 = \frac{(R + \frac{1}{jCw} + jLw)}{-jwM} i_2 = \frac{\sqrt{R^2 + (Lw - \frac{1}{Cw})^2}}{\sqrt{(R^2 - (Lw - \frac{1}{Cw})^2 + M^2w^2)^2 + 4R^2(Lw - \frac{1}{Cw})^2}}$$

Traçons les courbes des intensité i_1 et i_2 en fonction de la pulsation w pour inductance propre $L=0,2\text{H}$, pour une résistance $R=10\Omega$, de capacité 100mF et une inductance mutuelle de $0,2\text{H}$

Courbe des intensités i_1 et i_2 en fonction des pulsations w



[8]

Etude énergétique du système:

On a:

$$\begin{aligned}
 e_2 = U_{R(2)} + U_2 &\Rightarrow -L \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt} = Ri_2 + \frac{Q_2}{C} \\
 &\Rightarrow -L i_2 \frac{di_2}{dt} - M i_2 \frac{di_1}{dt} = Ri_2^2 + \frac{Q_2}{C} \frac{dQ_2}{dt} \\
 &\Rightarrow -\frac{d(\frac{1}{2}Li_2^2)}{dt} - M i_2 \frac{di_1}{dt} = R i_2^2 + \frac{d(\frac{1}{2C}Q_2^2)}{dt}
 \end{aligned}$$

De même,

$$\begin{aligned}
 e_1 + V = U_{R(1)} + U_1 &\Rightarrow -L \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} + V = Ri_1 + \frac{Q_1}{C} \\
 &\Rightarrow -L i_1 \frac{di_1}{dt} - M i_1 \frac{di_2}{dt} + V i_1 = Ri_1^2 + \frac{Q_1}{C} \frac{dQ_1}{dt} \\
 &\Rightarrow -\frac{d(\frac{1}{2}Li_1^2)}{dt} - M i_1 \frac{di_2}{dt} + V i_1 = R i_1^2 + \frac{d(\frac{1}{2C}Q_1^2)}{dt}
 \end{aligned}$$

On obtient que :

$$V i_1 = \underbrace{\frac{d(\frac{1}{2}Li_1^2 + \frac{1}{2}Li_2^2)}{dt}}_{\text{Puissance magnétique totale des deux circuits}} + \underbrace{M \frac{d(i_2 i_1)}{dt}}_{\text{Puissance électrique dissipée par effet Joule}} + \underbrace{R(i_2^2 + i_1^2)}_{\text{Puissance électrique dissipée par effet Joule}} + \underbrace{\frac{d(\frac{1}{2C}Q_2^2 + \frac{1}{2C}Q_1^2)}{dt}}_{\text{Puissance accumulée par l'ensemble des deux condensateurs}}$$

Puissance totale fournie par le générateur

Puissance magnétique totale des deux circuits

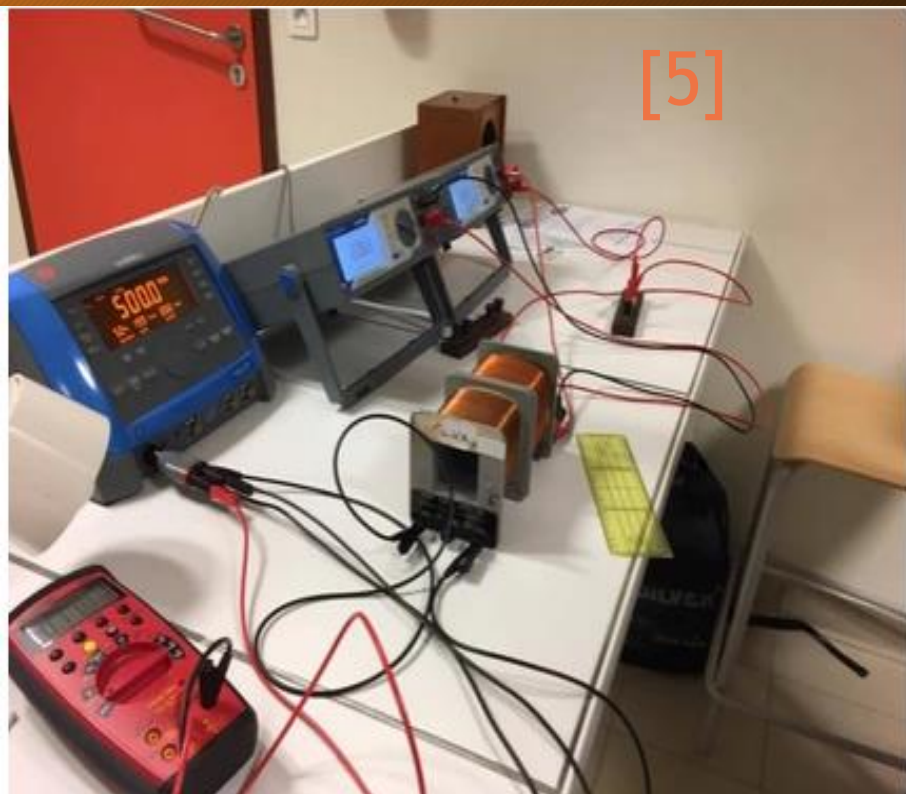
Puissance électrique
dissipée par effet Joule

Puissance accumulée par
l'ensemble des deux condensateurs

III-Les limites et les contraintes de la transmission sans fils

13

- Quelques expériences réalisées mettant en évidence la transmission:



Il s'agit d'un montage mettant en évidence le phénomène de transfert de l'énergie sans fils .
Les outils ayant contribué à la réalisation de cette expérience sont un générateur délivrant

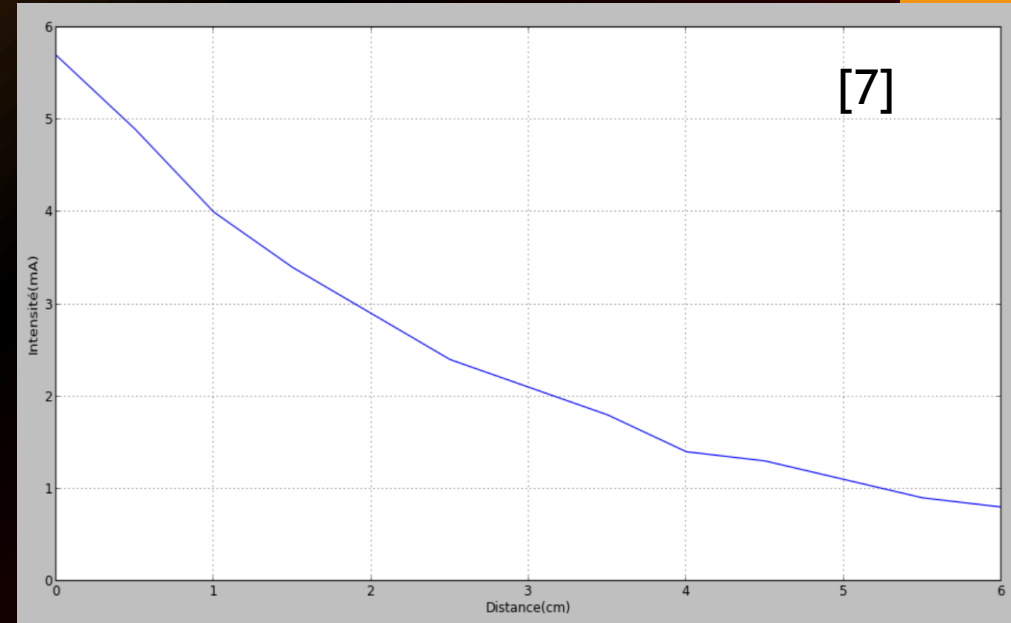
- une tension 7V à 500 kHz
- deux bobines de cuivre 1000 spires: l'une qui jouant le rôle d'émetteur et l'autre le récepteur
- d'un ampèremètre qui vont mesurer les intensités des courants électriques

Tableau donnant les variations observées de l'intensité du courant et la tension reçues

distance (cm)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
intensité reçue (mA)	5.7	4.9	4.0	3.4	2.9	2.4	2.1	1.8	1.4	1.3	1.1	0.9	0.8
tension reçue (V)	6.4	5.6	4.7	4.0	3.6	3.3	2.6	2.2	1.9	1.7	1.3	1.1	0.7

14

On remarque que plus la distance séparant les deux bobines est grande, moins est l'intensité reçue par la bobine réceptrice. Pareillement pour la tension reçue elle diminue au fur et à mesure qu'on éloigne les deux bobines.



Effets directs des champs statiques, électriques ou magnétiques

Les champs électriques statiques peuvent provoquer des **réactions cutanées**. En effet, ils induisent au niveau de la peau des personnes exposées une modification de la répartition des charges électriques. Cette modification est perceptible surtout au niveau des poils et des cheveux (seuil de perception : 10 kV/m, seuil de sensations désagréables : 25 kV/m).

Les **champs magnétiques statiques** peuvent être à l'origine :

- d'une modification de l'**électrocardiogramme (ECG)** au-delà de 8 T ;
- d'**effets sensoriels** (nausées, vertiges, goût métallique au-delà de 2 T).

Ces effets peuvent survenir en cas d'exposition à un champ magnétique statique de très grande intensité et lorsqu'on se déplace dans le champs.

Source: <https://www.inrs.fr/risques/champs-electromagnetiques/effets-sante.html>

De par ses effets cancérogènes pour vis-à-vis de l'homme le champ électromagnétique doit être manipulé avec précaution:

- Protéger la zone de travail et la restreindre qu'à un nombre limité de accès
- modifier les le matériel conçu préalablement et diminuer la puissance de l'émission

CONCLUSION:

16

Certains facteurs influencent le rendement en énergie transmis par induction tels que la distance influençant la puissance transmise par le système inductif ou alors la puissance générée par le générateur qui déteint sur l'efficiency convenable au système. On note aussi que lors de la réalisation du système les bobines de travail doivent être le plus proche possible afin de favoriser le rendement, travailler à faible fréquence et veiller au décalage entre les axes des bobines.

Notons que le champ magnétique peut entraîner des modifications sur l'être humain notamment la répartition des charges électriques pouvant conduire à une modification de l'électrocardiogramme ou à des effets sensoriels comme des nausées, vertiges, goût métallique et autres. Il est donc nécessaire de sécuriser le système pour éviter tout danger lié au champ magnétique

ANNEXE

17

[1] https://www.frandroid.com/produits-android/hardware/609498_probleme-chauffe-chargeur-sans-fil-smartphone-mal-aligne

[2] <https://www.ldlc.com/fr-lu/fiche/PB00223235.html>

[3] <https://www.lesechos.fr/2012/06/lelectricite-sans-fil-arrive-dans-les-transports-358748>

[4] <https://www.lesnumeriques.com/voiture/un-nouveau-standard-pour-la-recharge-sans-fil-des-voitures-electriques-n156181.html>

[5]& [6] Expérience de Paco Bizet, Julian Coulon, Hugo Deserable
<https://hugodlh1s1.wixsite.com/tpe1s1/single-post/2017/02/26/iii-les-limites-et-les-contraintes-de-ces-transmissions>

18

```
[7] *diag.py - C:/Users/edoah/AppData/Local/Programs/Python/Python39/diag.py (3.9.0)
File Edit Format Run Options Window Help
import matplotlib.pyplot as plt
from math import *
I=[5.7,4.9,4,3.4,2.9,2.4,2.1,1.8,1.4,1.3,1.1,0.9,0.8]
D=[0,0.5,1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,4.5,5,5.5,6]

plt.xlabel('Distance (cm)')
plt.ylabel('intensité (mA)')

plt.plot(I,D)

plt.grid()

plt.show()
```

```
[8] import numpy as np

from math import *

import matplotlib.pyplot as plt

X=np.linspace(1,100,1000)
L=0.2
C=0.1
R=10
M=0.2
Y1=[(M*x)/(np.sqrt((R**2-(L*x-1/(C*x))**2)+4*(R**2)*((L*x-1/(C*x))**2)))for x in X]

Y2=[(sqrt(R**2+(L*x-1/(C*x))**2))/(np.sqrt((R**2-(L*x-1/(C*x))**2)+4*(R**2)*((L*x-1/(C*x))**2))) for x in X]

plt.plot(X,Y1,label="i1")

plt.plot(X,Y2,label="i2")

plt.grid()

plt.legend()

plt.xlabel('pulsation w(rad/s)')

plt.ylabel('intensite (A)')

plt.show()
```