

Le potentiel des technologies plastroniques pour le transfert d'énergie sans fil inductif omnidirectionnel

**S. Kamotesov^{1,2}, P. Lombard², V. Semet², B. Allard², A. Veille¹,
M. Moguedet¹, M. Cabrera²**

(1) Smart Plastic Products (S2P), 5 Rue Pierre et Marie CURIE, Belignat - BP 21107, 01111 Oyonnax Cedex, France,

(2) Laboratoire Ampere UMR 5005 CNRS ECL INSA UCB, 20, avenue Albert Einstein 69621 Villeurbanne cedex - France

Contact : **Michel Cabrera**
Laboratoire Ampere
michel.cabrera@insa-lyon.fr

Maël Moguedet
Smart Plastic Products S2P
mael.moguedet@s-2p.com

Mecatronic/Plastronic Connection 2018

1. Présentation de S2P et du laboratoire Ampère
2. Introduction & Motivation
3. Principe expérimental
4. Montage expérimental
5. Résultats
6. Conclusion

1. Présentation de S2P et du laboratoire Ampère



SMART PLASTIC PRODUCTS – S2P

- Société située à Oyonnax au cœur de la « French plastic-valley »
- Spin off de IPC, le centre technique de l'industrie plastique
- Spécialiste dans la miniaturisation électronique avec la plastronique et la technologie 3D Molded Interconnect Devices technology (3D-MID)
- LDS et 2K-molding
- Marchés: aérospatial, défense, sécurité, médical, industrie
- Fonctions: antennes 3D, capteurs 3D, interconnexion 3D, LED, anti-intrusion,...
- Fondée en 2014
- 10 employées



Laboratoire Ampère

- Laboratoire de recherche situé à Lyon, rattaché au CNRS et 3 grandes écoles (ECL INSA UCBL)
- Matériaux du Génie électrique, Électronique de puissance, Haute-tension, Compatibilité électromagnétique, Modélisation électromagnétique, Systèmes de stockage de l'énergie électrique, Contrôle-commande, Mécatronique, **Plastronique 3D**, Fluid power, Robotique médicale, Diagnostic et sûreté de fonctionnement, Transferts de gènes et adaptation bactérienne, Ingénierie écologique
- Fondé en 2007
- Plus de 180 Chercheurs (50% Doctorant et postdoc)

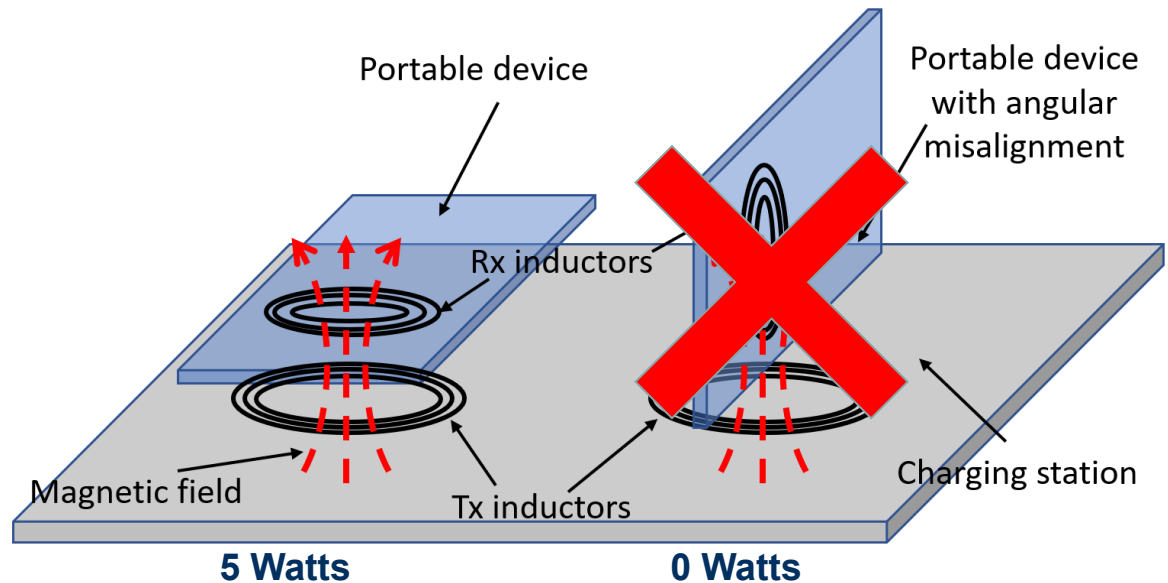


2. Introduction & Motivation



Transfert d'Énergie Sans Fil (TESF) - Wireless Power transfer (WPT)

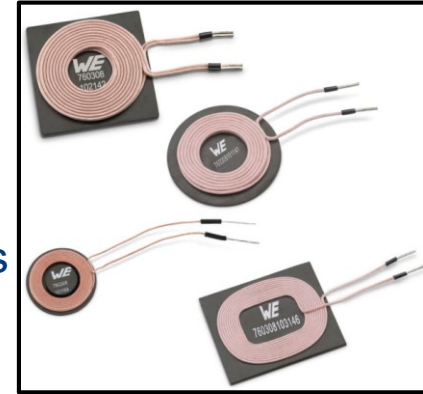
- Transfert d'énergie d'un émetteur vers un récepteur par induction magnétique
- Nécessite 2 inductances (1 émettrice 1 réceptrice)
- Pas de câble = pratique, facile à utiliser, immunisé à l'eau, durée de vie augmenté et chargeur universel (standard Qi)
- Principalement utilisé pour les technologies portables (smartphones, montres connectées, etc.), robots, l'électroménager et la recharge de véhicule
- Nécessite un bon alignement → Récepteur limité en mouvement
- Le design 3D du récepteur peut corriger ces problèmes d'alignements



2. Introduction & Motivation

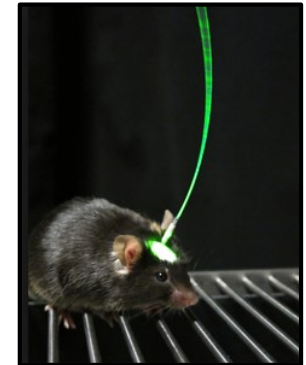
Etat actuel du TESF par induction:

- Inductance en standard Qi → Lourd + encombrant
- Mouvements limité à cause du problème d'alignement
- Inductance 3D difficile à fabriquer avec les technologies standards



Idée: Récepteur omnidirectionnel d'énergie inductive de petite taille en technologie 3D-MID

- Liberté de mouvement augmenté avec un design 3D des inductances
- Facile à fabriquer avec la technologie 3D-MID
- Récepteur miniaturisé pour augmenter la liberté de mouvement au prix d'un rendement plus faible
- Utilisation: Mini robots, capteurs mobiles (monitoring animalier & humain, machines mobiles), automatisation industriel, applications médicales (implants, cœur artificiel)...



- **Nécessite des inductances de forme 3D ayant un facteur de qualité élevé**



2. Introduction & Motivation



Travaux précédents sur les inductances en 3D-MID:

- Capteur de proximité inductif 3D
- Fabriqué avec le procédé habituel 3D-MID : LDS + cuivre chimique + électrodéposition de cuivre + étain chimique à froid
- 100 μm de cuivre avec une conductivité proche du cuivre brut
- Inductances 3D avec facteur de qualité élevé $Q > 100$ dans la plage fréquentielle de 1 MHz à 100 MHz



Kamotesov Sergkei, and al. "Modelization and characterization of 2D and 3D mid inductors for multidirectional inductive proximity sensing." *Molded Interconnect Devices (MID)*, 2016 12th International Congress. IEEE, 2016.

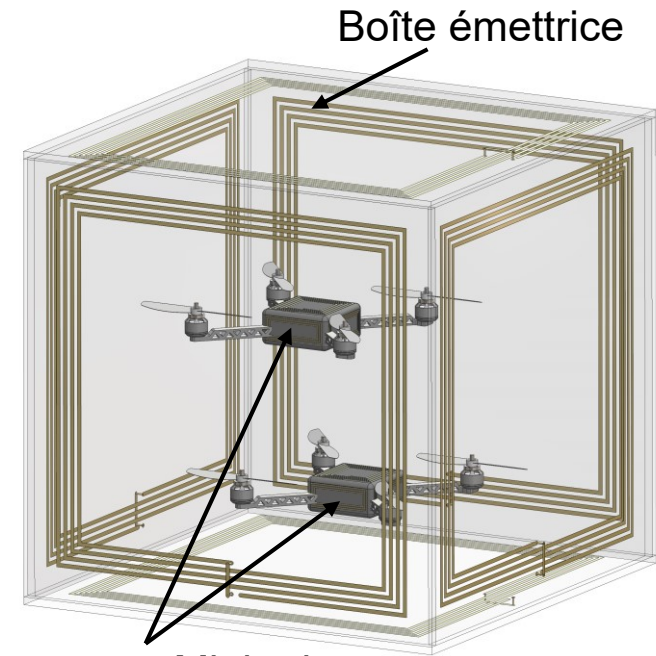
3. Principe expérimental



Cas d'étude:

- Boîte émettrice 3D avec des inductances résonante sur chaque côté
- Récepteurs 3D miniaturisés avec des inductances 3D-MID omnidirectionnels
- Utilisation directe de la puissance sans élément de stockage
- Insensible à la rotation et au désalignement
- Induction résonante à 6,78 MHz

Questions: Performance? Distance de transmission?
Dépendance au désalignement?

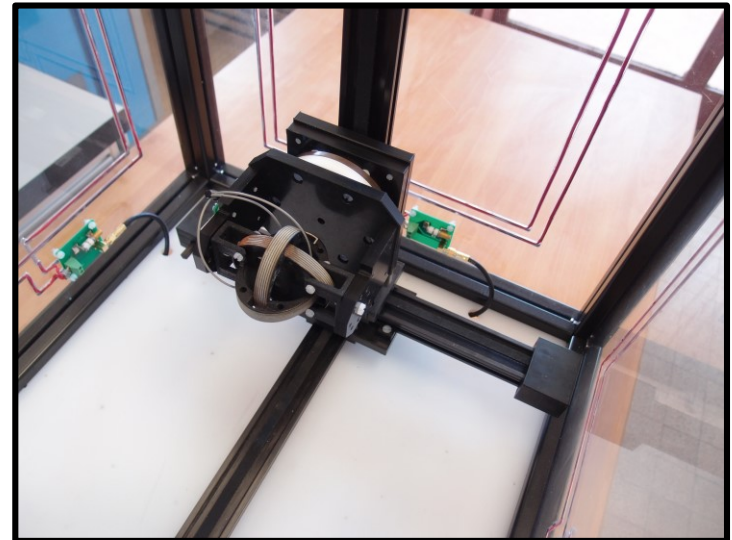
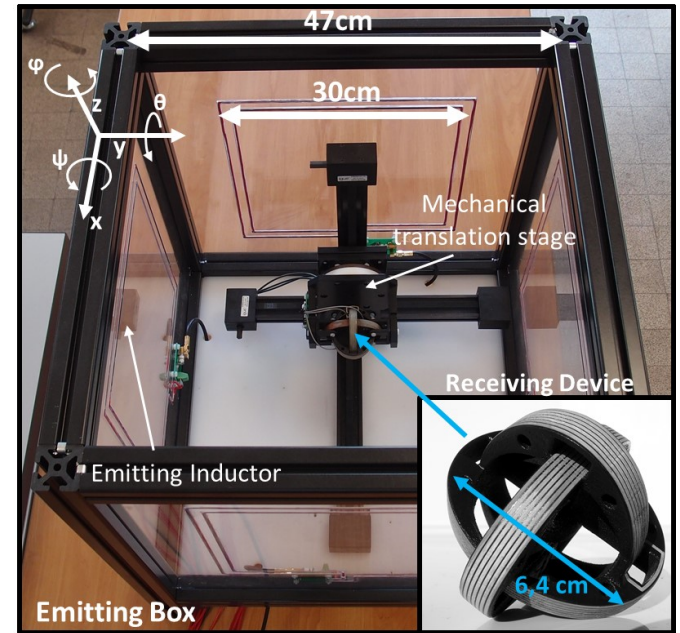
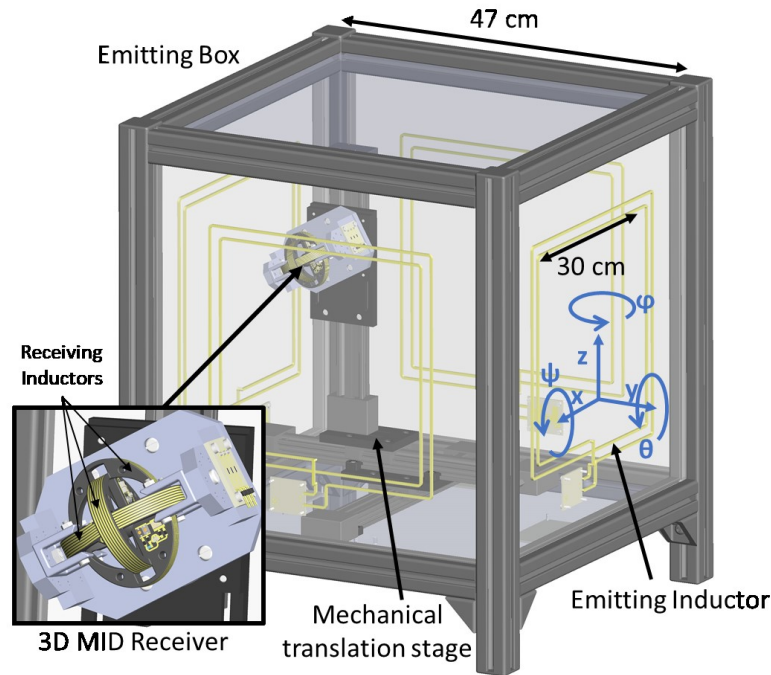


Récepteurs: Mini robots
avec des inductances
en 3D-MID

4. Montage expérimental

Boîte émettrice:

- Boite de taille $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ m}^3$
- Translation XYZ $\theta\psi$ et châssis entièrement polymère
- 4 inductances émettrices ($L=4,4\mu\text{H}$ et $Q=120$) filaires de 30 cm sur chaque côté de la boîte
- 4 onduleurs type class D travaillant à 6,78 MHz



4. Montage expérimental

Récepteurs 3D-MID:

- 3 inductances ($L=5,7 \mu\text{H}$, $Q=130$) résonantes et elliptiques de $6,4\text{cm} \times 5,2\text{cm}$ sur chaque côté
- Procédé de fabrication 3D-MID + électrodéposition de cuivre jusqu'à $100\mu\text{m}$
- Capacité d'accordement pour les 6,78 MHz, circuit de redressement and charge de 68Ω

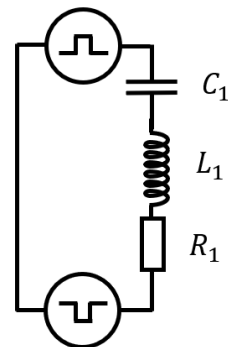


Capacités et circuit de redressement

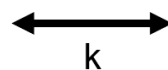


Inductances réceptrice

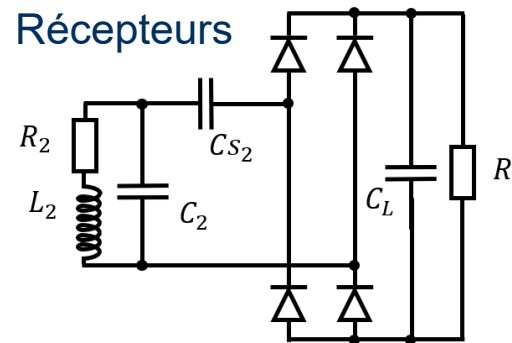
Emetteurs



4×TX



Récepteurs

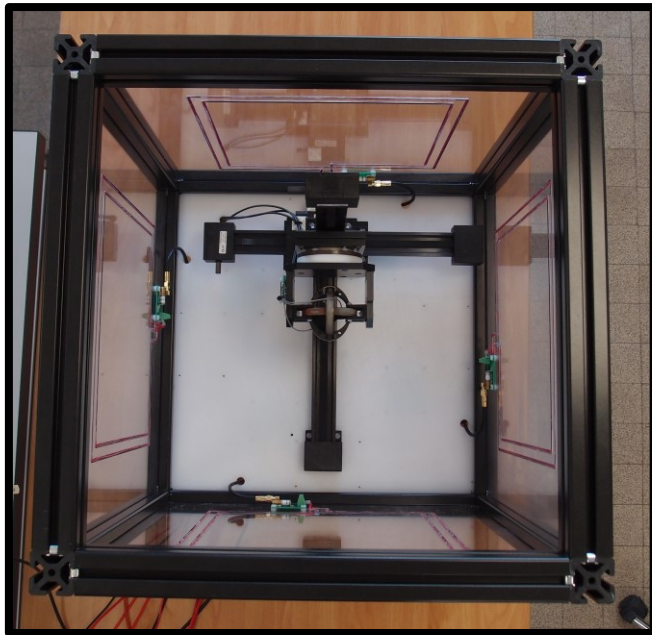


3×RX

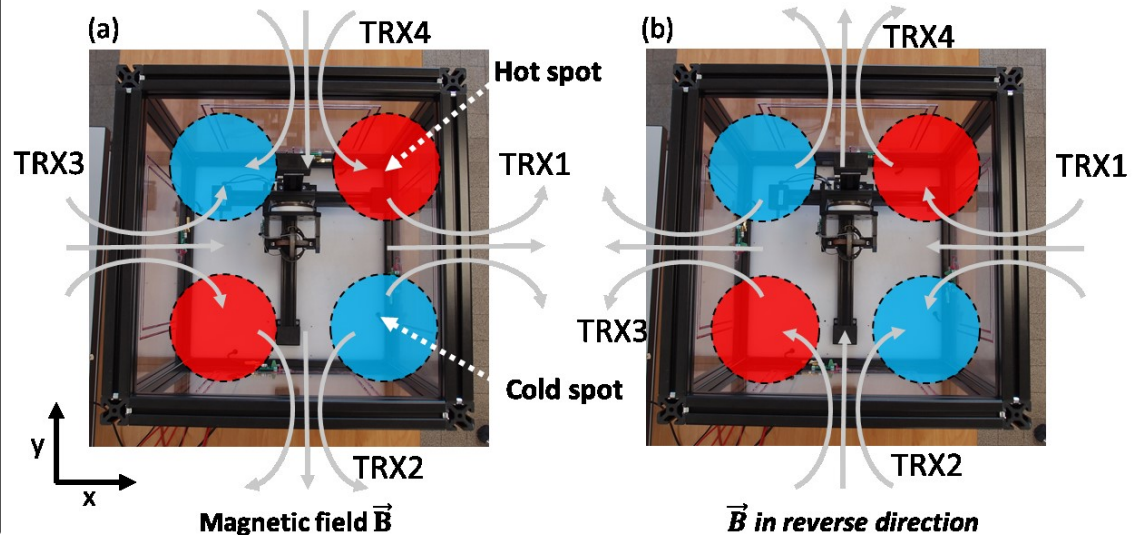
4. Montage expérimental

Orientation du champ magnétique:

- Champs magnétiques couplés par 2
- Champs magnétiques constructifs → 2 points chauds
- Champs magnétiques opposés → 2 points froids



Vu du dessus de la boîte



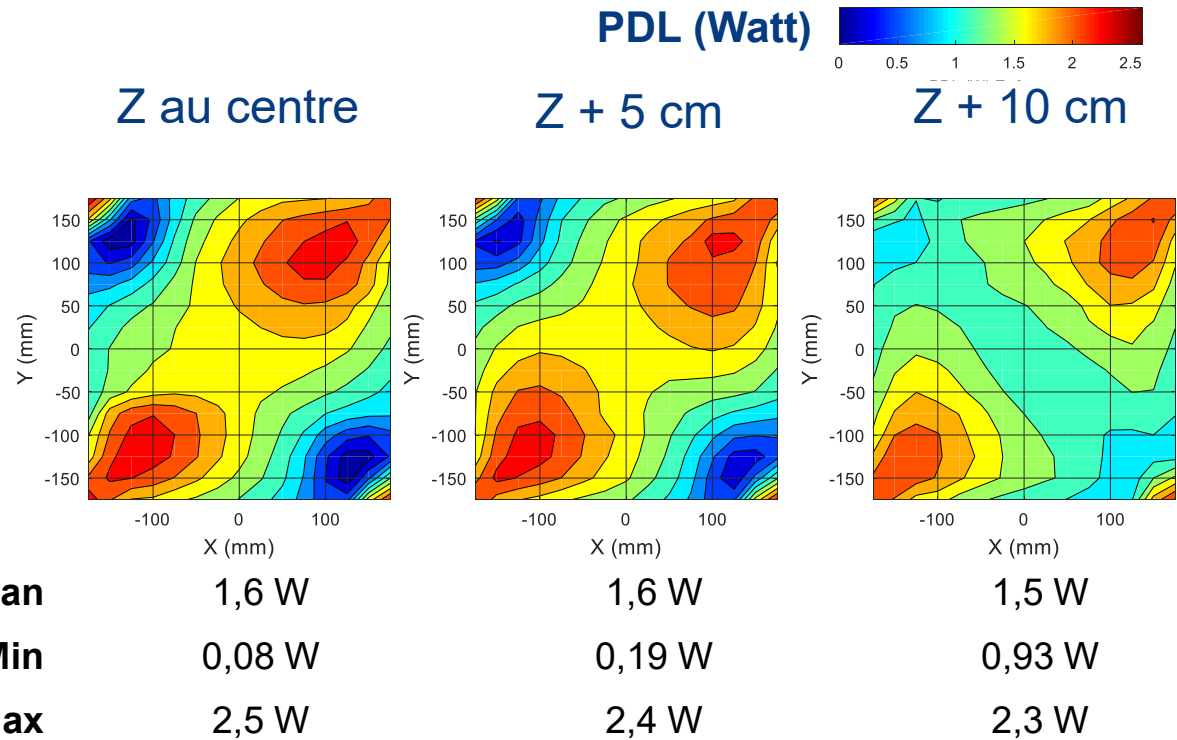
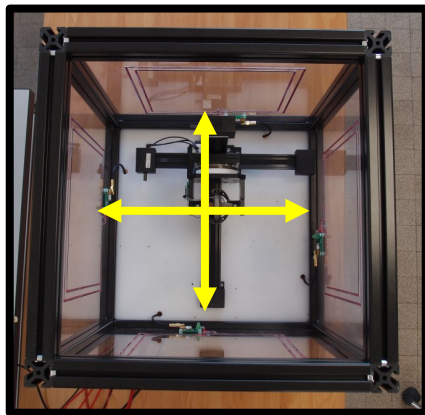
Vu du dessus de l'orientation du champ magnétique pendant la première (a) et seconde (b) demi-période du sinus

5. Résultats



Mesure de la Power Delivery to Load (PDL):

- PDL après redressement mesuré à différentes position verticales
- Quasiment 1,6 Watt de puissance sur la plus part des position
- Points chauds et froids



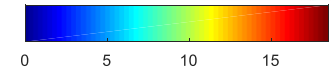
5. Résultats



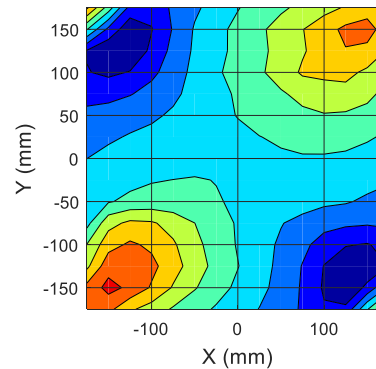
Mesure du rendement - Power Transfer Efficiency (PTE):

- Rendement faible attendu
- PTE de la source à la charge d'environ 9%
- Points chauds et points froids

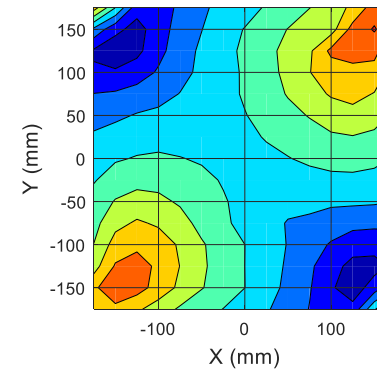
PTE (%)



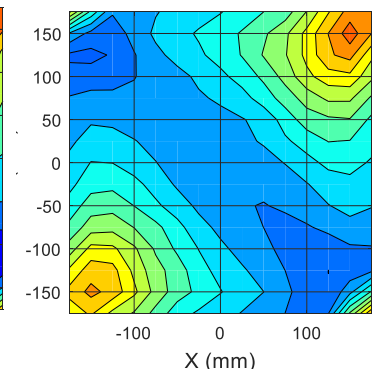
Z au centre



Z + 5 cm



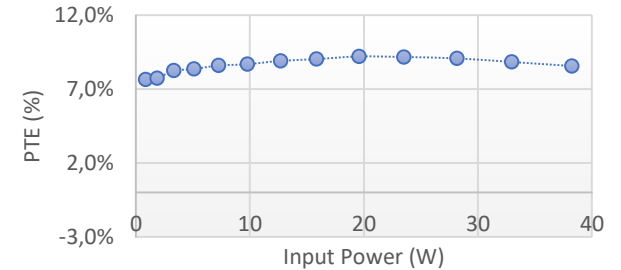
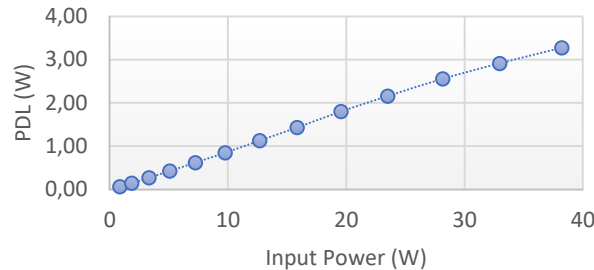
Z + 10 cm



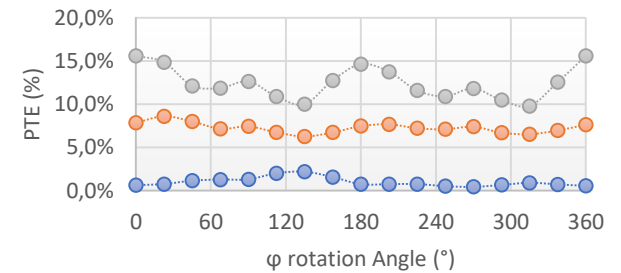
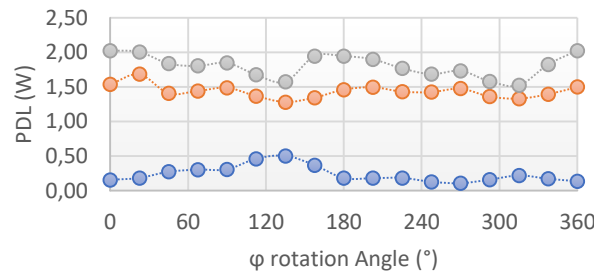
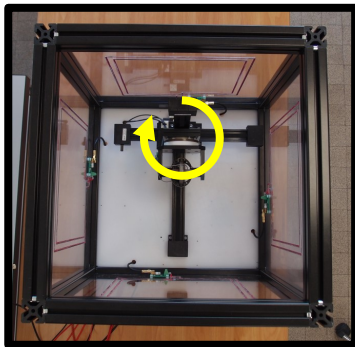
Mean	9%	9,3%	8,25%
Min	0,34%	0,83%	4,4%
Max	18,3%	16,8%	16,6%

5. Résultats

- La puissance en sortie peut atteindre plus de 3W (limité par des échauffements)

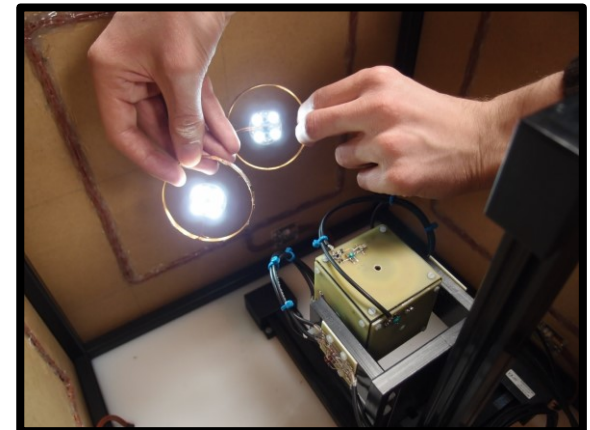
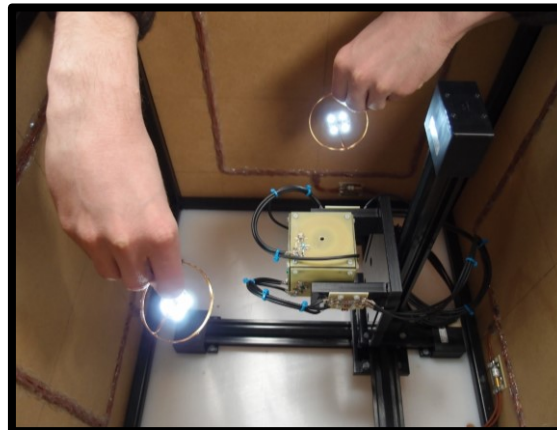


- Le récepteur est insensible à la rotation



..... Cold spot Central position Hot spot

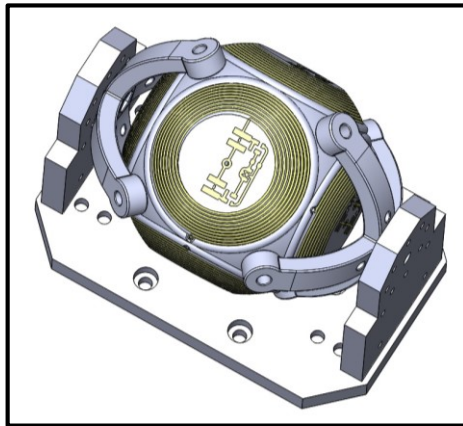
- Fonctionne avec plus d'un récepteur



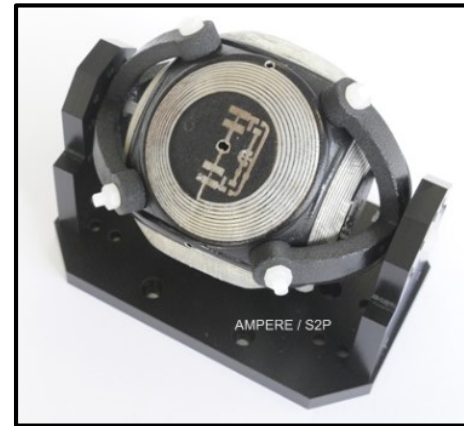
6. Perspectives avec la 3D-MID

D'autres récepteurs en 3D-MID sont étudiés

- Sphère avec 6 inductances de $5,3 \mu\text{H}$ avec $Q=103$
- Inductances fabriquées en 3D-MID par procédé LDS + électrodéposition de $100\mu\text{m}$ de cuivre
- Pas encore testé
- Simulation: 4 Watt de puissance en sortie avec un rendement moyen de 15%



CAO



Réalisation

6. Conclusion



- Association des technologies 3D-MID + WPT
- Résultats préliminaires: liberté de mouvement augmenté, omnidirectionnalité du récepteur, 3 Watts à 9%
- Beaucoup d'améliorations sont possibles (uniformité, gestion de la puissance envoyée, récepteurs multiples,...)
- Le design 3D offre beaucoup de possibilité pour la WPT
- La 3D-MID et les technologies plastroniques peuvent permettre de fabriquer des inductances 3D avec des formes compliquées.

Publications:

- Kamotesov Sergkei, and al. "Omnidirectional inductive wireless charging of a 3D receiver cube inside a box." *Wireless Power Transfer Conference (WPTC), 2018* IEEE.
- Kamotesov Sergkei, and al. "The Potential of 3D-MID Technology for Omnidirectional Inductive Wireless Power Transfer." *Molded Interconnect Devices (MID), 2018 13th International Congress*. IEEE, 2018.



Merci pour votre attention



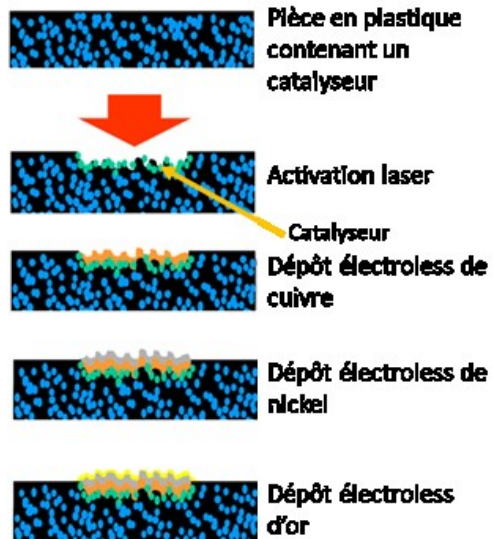
Questions ?

Remerciements

- La Société S2P et le laboratoire Ampère
- Mes encadrants à Ampère: M. Cabrera, V. Semet et P. Lombard
- Mes encadrants à S2P: M. Moguedet, A. Veille
- B. Allard et C. Martin du laboratoire Ampère



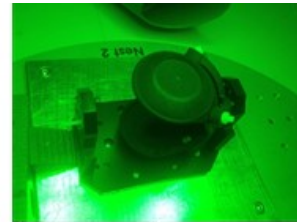
Procédé LDS



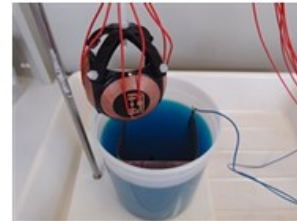
Pièce fabriqué par frittage de poudre



Dépôt électroless de cuivre



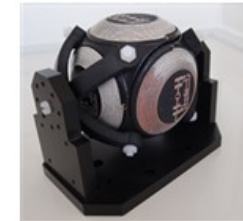
Peint avec du ProtoPaint et avant activation laser



Electrodéposition de cuivre



Pièce après activation



Pièce après étamage à froid