

Etude de l'impact du champ électromagnétique rayonné par les systèmes de transfert d'énergie sans contact sur les dispositifs médicaux implantables actifs – Application automobile

1. Contexte

Le secteur des transports est à l'origine de 7,29 milliards de tonnes d'émissions de CO₂ rien qu'en 2020 (20,27 % des émissions totales de CO₂) dans le monde. Les voitures conventionnelles représentent elles seules 3 milliards de tonnes de CO₂ émises en 2020 dans le monde (41,15 % des émissions totales du secteur des transports). Le développement massif des véhicules électriques (VEs) devient une nécessité écologique pour remplacer les véhicules thermiques utilisant des moteurs à combustion. Néanmoins, cette technologie est encore très peu répandue. Cela peut être attribué, entre autres, à la faible autonomie des véhicules électriques par rapport aux véhicules thermiques. Les véhicules électriques utilisent des batteries embarquées à la place du combustible fossile pour stocker l'énergie électrique nécessaire à la propulsion du véhicule. Plusieurs blocs de batteries de grande capacité et de forte puissance sont généralement nécessaires pour que les VEs puissent fonctionner sur des distances raisonnables. Cependant, il n'est pas facile de réaliser des batteries fiables et compétitives pour ces VEs dans la gamme de 1 kW à 10 kW en raison des exigences de coût, de niveau de sécurité, de densité de puissance, de durée de vie, de volume et de poids, qui doivent tous être satisfaits simultanément. Par ailleurs, les batteries lithium-ion actuellement commercialisées pour ces véhicules sont reconnues comme la solution la plus compétitive, mais leur densité de puissance est inférieure à 100 Wh/kg. Une autre alternative pour surmonter cette problématique liée aux batteries porte sur l'utilisation des systèmes de transfert d'énergie par induction dynamique.

La technique de la recharge par induction est largement utilisée ces dernières années dans différents domaines (téléphones portables, tablettes, automobile, ...). Le principe consiste à réaliser un transfert d'énergie entre deux systèmes, sans aucune connexion électrique entre eux. Dans le domaine automobile,

le principe de recharge sans contact extrapolé à l'alimentation d'un véhicule roulant constitue une des solutions envisagées pour répondre à la problématique d'autonomie des véhicules électriques (Figure 1). En effet, des portions de route électrifiées permettraient d'augmenter l'autonomie des véhicules à propulsion électrique d'une part, et de réduire la taille et la masse des batteries embarquées d'autre part. L'une des problématiques de cette technique est le rayonnement électromagnétique et l'impact du champ électromagnétique sur le corps humain et plus particulièrement sur les personnes porteuses des dispositifs médicaux implantables (Figure 2).

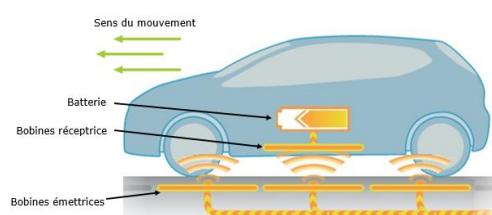


Figure 1 : Recharge par induction dynamique d'un véhicule électrique

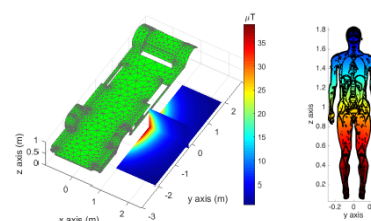


Figure 2 : Exposition au champ électromagnétique

Cette thèse s'inscrit dans la poursuite des travaux initiés au GeePs autour des systèmes de transfert d'énergie par induction dans le domaine de l'automobile.

2. Objectif et méthodologie

Le travail proposé ici va consister à développer des méthodologies de modélisation visant à étudier l'exposition des personnes porteuses de dispositifs médicaux implantables actifs (DMIA) aux champs électromagnétiques rayonnés par les systèmes de transfert d'énergie par induction dynamique en prenant en considération l'environnement réel. Cette étape de modélisation est essentielle pour prédire les risques dans les phases les plus en amont d'un projet. Dans un premier temps, il sera nécessaire d'identifier les différents systèmes électriques à prendre en considération pour caractériser les différentes sources de perturbations dans le véhicule. Une modélisation de l'ensemble de la chaîne de puissance sera nécessaire pour déterminer les zones où le champ magnétique est très important. L'approche doit pouvoir considérer à la fois les perturbations conduites véhiculées par les câblages et les perturbations rayonnées au sein et à proximité de l'habitacle. Plusieurs difficultés vont alors se poser lors de la détermination de ces champs. En particulier, il va falloir considérer simultanément des structures de tailles très différentes (coupleur magnétique, câbles de faibles rayons...), et de nature parfois complexes (éléments en matériaux composites, blindages avec leurs propriétés physiques et leurs imperfections, ...). La possibilité d'effectuer des études paramétriques sur la position des câbles et des ouvertures est un objectif important pour cette étude, et des techniques de méta-modélisation pourront être mises en place à cet effet. Pour réaliser cette étude, le futur doctorant utilisera le banc de test de transfert d'énergie sans contact existant au laboratoire. De nouveaux bancs de mesure devront être mis en place pour compléter et valider les modèles développés.

Les travaux de recherche porteront sur :

- Une étude bibliographique :
 - Les systèmes de recharge sans contact par induction dans le domaine de l'automobile
 - Les différents matériaux composites utilisés dans le domaine de l'automobile
 - Les différentes topologies de DMIA
 - Les normes à respecter pour les personnes porteuses de DMIA
- Développer des modèles types circuit/électromagnétique pour la détermination des niveaux de champs à l'intérieur de l'habitacle
- Utiliser la méta-modélisation pour simplifier les études paramétriques
- Réaliser des études dosimétriques
- Proposer des solutions pour la réduction du champ magnétique rayonné
- Validation expérimentale en utilisant le banc test 3kW existant au laboratoire.

3. Compétences acquises lors du travail de thèse

Modélisation électromagnétique, Blindage magnétique, Mesures en champ proche.

4. Outils logiciels

COMSOL, ANSYS, LTspice, CST Microwave.

5. Bibliographie

1. S. Li and C. C. Mi, "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 3, no. 1, pp. 4-17, March 2015, doi: 10.1109/JESTPE.2014.2319453.
2. Hwang, Young J., and Jae Y. Jang. 2020. "Design and Analysis of a Novel Magnetic Coupler of an In-Wheel Wireless Power Transfer System for Electric Vehicles" Energies 13, no. 2: 332.
3. Y. Fang and M. H. Pong, "Multiple Harmonics Analysis for Variable Frequency Variable Duty-Cycle Controlled Inductive Power Transfer Systems," 2018 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (Wow), Montreal, QC, Canada, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/WoW.2018.8450933.
4. W. Kabbara, M. Bensetti, T. Phulpin, A. Caillierez, S. Loudot, and D. Sadarnac, "A Control Strategy to Avoid Drop and Inrush Currents during Transient Phases in a Multi-Transmitters DIPT System," Energies, vol. 15, no. 8, p. 2911, Apr. 2022, doi: 10.3390/en15082911.
5. Kadem K, Bensetti M, Le Bihan Y, Labouré E, Debbou M. Optimal Coupler Topology for Dynamic Wireless Power Transfer for Electric Vehicle. Energies. 2021; 14(13):3983. <https://doi.org/10.3390/en14133983>



6. P. -P. Ding, L. Bernard, L. Pichon and A. Razek, "Evaluation of Electromagnetic Fields in Human Body Exposed to Wireless Inductive Charging System," in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 50, no. 2, pp. 1037-1040, Feb. 2014, Art no. 7025704.
7. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (1 Hz to 100 kHz)," Health Phys., vol. 99, no. 6, pp. 818–836, 2010.
8. Vinicius de Moraes, Wassim Kabbara, Mohamed Bensetti, and Tanguy Phulpin. "Modeling and Optimization of a New Magnetic Coupler Topology for DIPT Systems. IEEE Transactions on Magnetics, 59(5):1–4, May 2023. doi: [10.1109/TMAG.2023.3246768](https://doi.org/10.1109/TMAG.2023.3246768). URL <https://hal-centralesupelec.archives-ouvertes.fr/hal-04093788>.
9. Amadou Bayaghiou Diallo, Mohamed Bensetti, Christian Vollaire, Lionel Pichon, and Arnaud, "Breard.Scale Reduction for Modeling and Prototyping of Inductive Power Transfer System for EV applications". IEEE Transactions on Magnetics, 59(5):1–4, 2023. doi: [10.1109/TMAG.2023.3239564](https://doi.org/10.1109/TMAG.2023.3239564). URL <https://hal.science/hal-03998693>.
10. Yao Pei, Lionel Pichon, Yann Le Bihan, Mohamed Bensetti, and Philippe Dessante. Fast Shielding Optimization of an Inductive Power Transfer System for Electric Vehicles. IEEE Access, 10:91227–91234, 2022a. doi: [0.1109/ACCESS.2022.3198953](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3198953). URL <https://hal.science/hal-03768310>.
11. Y. Pei, L. Pichon, **M. Bensetti**, Y. Le Bihan, "Multiobjective optimization based on polynomial chaos expansions in the design of inductive power transfer systems", COMPEL- International journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering, ISSN: 0332-1649 , publication date: Avril 2022 <https://doi.org/10.1108/COMPEL-10-2021-0393>
12. W. Kabbara, **M. Bensetti**, T. Phulpin, A. Caillierez, S. Ludot et D.Sadarnac, "A Control Strategy to Avoid Drop and Inrush Currents during Transient Phases in a Multitransmitters DIPT System", MDPI *Energies* 2022, 15(8), 2911; <https://doi.org/10.3390/en15082911>
13. K. Kadem, **M. Bensetti**, Y. Le Bihan, E. Labouré and M. Debbou, "Optimal Coupler Topology for Dynamic Wireless Power Transfer for Electric Vehicle", *Energies*, 14(13):3983, July 2021a. doi: 10.3390/en14133983. URL <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03285350>.
14. Y. Pei, Y. Le Bihan, **M. Bensetti**, and L. Pichon, "Comparison of Coupling Coils for Static Inductive Power-Transfer Systems Taking into Account Sources of Uncertainty", *Sustainability*, 13(11):6324, June 2021a. doi: [10.3390/su13116324](https://doi.org/10.3390/su13116324). URL <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03250731>.
15. G. Al Achkar, L. Pichon, **M. Bensetti**, L. Daniel, "Homogenization of metal grid reinforced composites for near-field low-frequency magnetic shielding " *Progress In Electromagnetics Research M*, EMW Publishing, 2021, 99, pp.153-163. . doi: [10.2528/PIERM20052402](https://doi.org/10.2528/PIERM20052402). URL <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03089059>.
16. K. Kadem, F. Benyoubi, **M. Bensetti**, Y. Le Bihan, E. Labouré and M. Debbou, "An Efficient Method for Dimensioning Magnetic Shielding for an Induction Electric Vehicle Charging System", *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 170, 153–167, 170:153{167, 2021b. doi:10.2528/PIER21031903. URL <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03248083>.



17. Y. PEI, L. Pichon, **M. Bensetti**, Y. Le Bihan, “Uncertainty quantification in the design of wireless power transfer systems”, *Open Physics*, Volume 18, Issue 1, Pages 391–396, eISSN 2391-5471, DOI: <https://doi.org/10.1515/phys-2020-0174>. © 2020
18. T. Campi, S. Cruciani, F. Maradei and M. Feliziani, “Electromagnetic Interference in Cardiac Implantable Electronic Devices Due to Dynamic Wireless Power Systems for Electric Vehicles”, *MDPI journal*, *Energies* 2023, 16, 3822.
19. Driessen, S.; Napp, A.; Schmiechen, K.; Kraus, T.; Stunder, D. Electromagnetic interference in cardiac electronic implants caused by novel electrical appliances emitting electromagnetic fields in the intermediate frequency range: A systematic review. *Europace* 2019, 21, 219–229
20. Hikage, T.; Nojima, T.; Fujimoto, H. Active implantable medical device EMI assessment for wireless power transfer operating in LF and HF bands. *Phys. Med. Biol.* 2022, 61, 4522–4536.
21. Cruciani, S.; Campi, T.; Maradei, F.; Feliziani, M. Wireless Charging in Electric Vehicles: EMI/EMC Risk Mitigation in Pacemakers by Active Coils. In *Proceedings of the 2019 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW)*, London, UK, 18–21 June 2019; pp. 173–176.
22. Campi, T.; Cruciani, S.; Maradei, F.; Feliziani, M. Pacemaker Lead Coupling with an Automotive Wireless Power Transfer System. *IEEE Trans. Electromagn. Compatib.* 2019, 61, 1935–1943.
23. ISO 14117:2019; Active Implantable Medical Devices—Electromagnetic Compatibility—EMC Test Protocols for Implantable Cardiac Pacemakers, Implantable Cardioverter Defibrillators and Cardiac Resynchronization Devices. ISO: Geneva, Switzerland, 2019.
24. Campi, T.; Cruciani, S.; Santilli, G.P.; Feliziani, M. Numerical analysis of EMF safety and thermal aspects in a pacemaker with a Wireless Power Transfer system. In *Proceedings of the 2015 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC)*, Boulder, CO, USA, 13–15 May 2015; pp. 1–4.
25. Mattei, E.; Censi, F.; Delogu, A.; Ferrara, A.; Calcagnini, G. Setups for in vitro assessment of RFID interference on pacemakers. *Phys. Med. Biol.* 2013, 58, 5301–5316

Directeur de thèse :

Mohamed BENSETTI – Professeur des Universités à CentraleSupélec –
mohamed.bensetti@centralesupelec.fr, 01.69.85.15.31

Co-encadrants :

Lionel PICHON – Directeur de recherche au CNRS-GeePs – lionel.pichon@centralesupelec.fr,
 01.69.85.16.58

Den PALESSONGA – Enseignant-chercheur – den.palessonga@geeps.centralesupelec.fr,
den.palessonga@esme.fr

Abelin KAMENI – Maîtres de conférences – abelin.kameni@centralesupelec.fr

