

# Chargeur de véhicule électrique à haut rendement employant un étage de conversion matriciel

---

Issa Sagara<sup>1,\*</sup>

Arnaud Videt<sup>2,\*</sup>

issa.sagara@sattnord.fr

arnaud.videt@univ-lille.fr

<sup>1</sup> SATT Nord  
Laboratoire L2EP

<sup>2</sup> IUT de Lille  
Laboratoire L2EP

*Le/les auteur(s) avec la marque \* sont auteur(s) correspondant(s).*

**THÈMES** – *Électronique - Énergie - Transport*

**RÉSUMÉ** – *Ce projet porte sur le développement d'une méthode de commande spécifique pour un chargeur embarqué employant un convertisseur matriciel et adapté au fonctionnement V2G (vehicule-to-grid). L'objectif est de réduire les pertes d'énergie pendant la commutation et d'améliorer le rendement du système tout en rendant le convertisseur plus compact. La commande utilise une méthode dite de commutation douce (ZVS): les transistors sont commandés à l'état passant uniquement quand la tension à leurs bornes est nulle, ce qui évite les pertes et les auto-échauffements. La méthode proposée détermine les meilleurs instants de commutation de manière systématique en fonction des tensions du réseau et des courants de référence, même lorsque ceux-ci ne sont pas en phase. Le convertisseur a été simulé sur le logiciel PLECS avec un réseau triphasé de 400 V pour une puissance de 22 kVA. Les résultats montrent que les courants produits sont bien sinusoïdaux, que toutes les commutations se font à pertes réduites, et que la taille des composants peut être minimisée tout en améliorant le rendement. Ce travail contribue à la mobilité électrique durable, en rendant les chargeurs de véhicules plus compacts, fiables et économes en énergie.*

**MOTS-CLÉS** – *Chargeur, électronique de puissance, rendement, densité de puissance.*

**SECTION(S) CNU POUR CET ARTICLE** – 63

**ARTICLE PRÉSENTÉ À L'ORAL PAR UN(E) DOCTORANT(E)** – *NON*

# 1 Introduction

Aujourd'hui, les véhicules électriques occupent une place de plus en plus importante dans la transition énergétique. Cela pousse à concevoir des chargeurs embarqués qui soient à la fois plus efficaces (haut rendement) et plus compacts (faible volume). Ces deux objectifs sont essentiels pour améliorer la performance, réduire le coût et faciliter l'intégration du chargeur dans le véhicule.

Dans les solutions classiques, le chargeur d'un véhicule électrique est composé de deux étages principaux [1] présentés en Fig. 1. Le premier est un étage **AC/DC** qui convertit le courant alternatif (AC) du réseau à basse fréquence (BF) vers un courant continu (DC) intermédiaire. Le second étage est un convertisseur **DAB** (Dual Active Bridge), qui isole le véhicule du réseau à l'aide d'un transformateur fonctionnant en régime alternatif à haute fréquence (HF), et inséré pour cela au sein d'une double conversion DC/AC puis AC/DC.

Cette structure présente deux problèmes majeurs :

- Elle nécessite deux bobines de filtrage volumineuses sur chacune des trois phases du réseau
- Chaque interrupteur (transistor MOSFET) du premier étage s'ouvre et se ferme avec une perte d'énergie élevée, dégradant le rendement du système.

Pour surmonter ces limites, on peut se tourner vers des convertisseurs "matriciels" qui réalisent une conversion **AC/AC** en un seul étage, assurant directement l'alimentation alternative HF du transformateur à partir du réseau triphasé BF [2]. Cette approche présente plusieurs avantages : elle réduit le nombre d'étages de conversion, diminue les pertes, et rend le chargeur plus compact. De plus, le filtre d'entrée (entre le réseau et le convertisseur) est réduit, avec moins de composants (une seule bobine sur chaque phase).

La commande d'un convertisseur matriciel est toutefois plus complexe. Elle doit garantir une bonne qualité du courant électrique sur le réseau, un fonctionnement à déphasage quelconque entre ce courant et la tension (pour couvrir tous les cas d'usage du V2G [3]), et une réduction significative des pertes lors des commutations de fermeture de chaque interrupteur.

## 2 Principe de fonctionnement

### 2.1 Description générale

La structure présentée en Fig. 2 présente un étage de conversion AC/AC directe (convertisseur matriciel) entre les bornes R, S, T côté réseau et A, B, C côté transformateur [4]. Pour réduire son encombrement, ce dernier fonctionne à haute fréquence (HF) grâce à la commutation des 9 interrupteurs de la structure, constitués de composants semiconducteurs (MOSFETs). Ainsi, alors que les tensions électriques du réseau ( $v_{RN}$ ,  $v_{SN}$ ,  $v_{TN}$ ) forment des sinusoïdes à basse fréquence (50 Hz), les tensions  $v_{AN}$ ,  $v_{BN}$ ,  $v_{CN}$  vues à l'entrée du transformateur sont "découpees" en HF

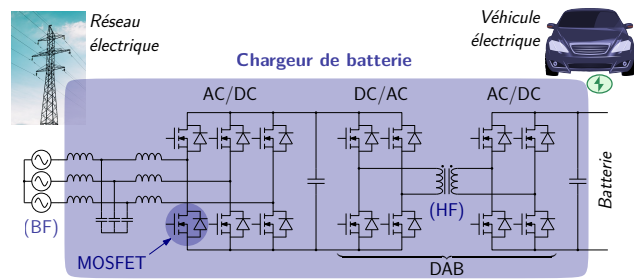


FIGURE 1 – Structure classique de chargeur

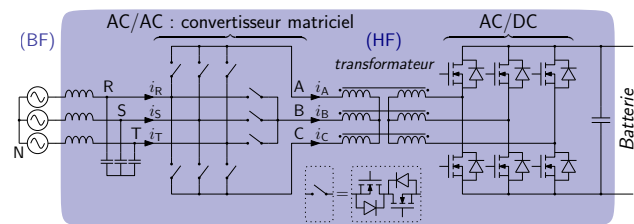


FIGURE 2 – Structure basée sur un convertisseur matriciel

(dizaine à centaine de kHz), comme le montre la Fig. 3. En conjonction avec la commande de l'étage AC/DC situé entre le transformateur et la batterie, les courants  $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$  dans le transformateur deviennent alternatifs à haute fréquence. En fonction l'état passant (ON) ou bloqué (OFF) de chaque interrupteur du convertisseur matriciel, une partie de ces courants HF se retrouve injecté sur le réseau électrique. On retrouve l'allure des courants injectés  $i_R$ ,  $i_S$ ,  $i_T$  sur le dernier graphe de la Fig. 3. L'objectif est que, une fois "nettoyés" de leurs variations HF, ils dessinent finalement une sinusoïde BF grâce à l'action du filtre (bobines et condensateurs) intercalé entre le réseau et le convertisseur.

Ce fonctionnement doit permettre le réglage du déphasage entre tensions et courants BF du réseau ( $\varphi$  en Fig. 3), tout en profitant des changements de signe des courants HF (du transformateur) pour mettre en œuvre une technique de "commutation douce" [5] réduisant les pertes occasionnées lors des changements d'état ON/OFF des interrupteurs.

### 2.2 Commande dans une période de commutation

Le relevé temporel de la Fig. 3 comporte un grand nombre de périodes de commutation HF, dont une est identifiée en partie gauche. Un zoom sur une telle période est présenté en Fig. 4, montrant seulement les tensions et courants primaires du transformateur. Au sein de chaque période, La commande proposée consiste à déterminer, pour chaque borne côté transformateur (A, B ou C), une séquence spécifiant la borne côté réseau (R, S ou T) à laquelle elle doit être successivement connectée au cours de la période, en activant (ON ou OFF) les interrupteurs de puissance adéquats du convertisseur matriciel. Pour ce faire, les tensions du réseau ( $v_{RN}$ ,  $v_{SN}$ ,  $v_{TN}$ ) sont préalable-

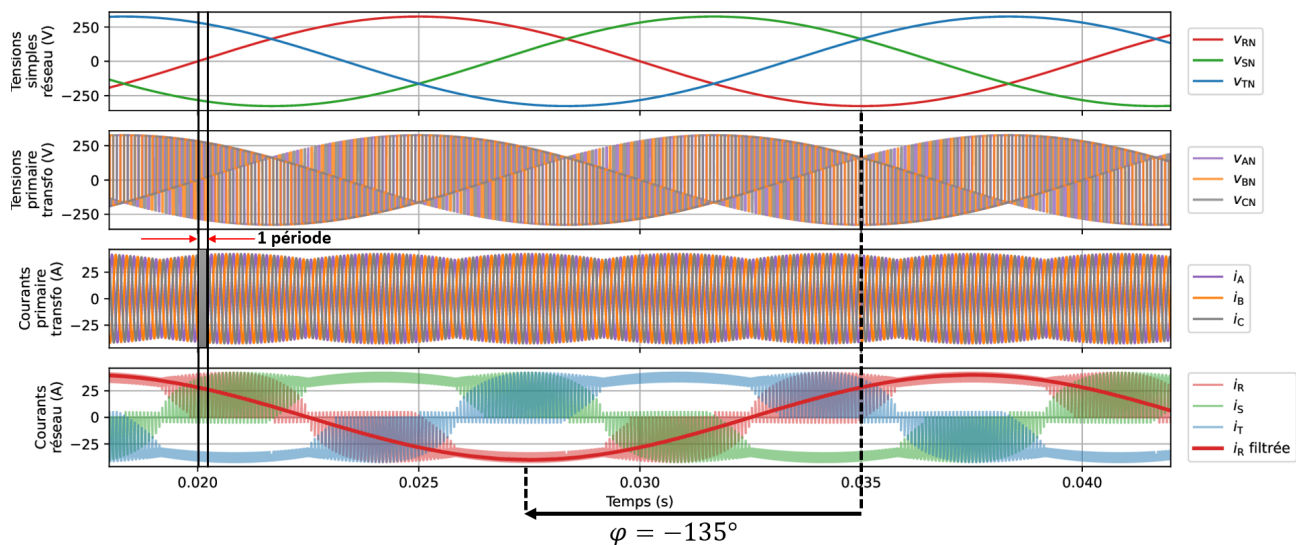


FIGURE 3 – Allures temporelles des grandeurs électriques

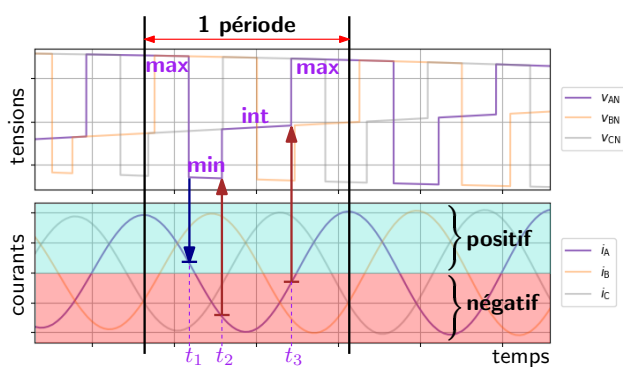


FIGURE 4 – Commande assurant la commutation douce

ment ordonnancées selon leur valeur maximale, minimale ou intermédiaire. Dans l'exemple de la Fig. 4, la borne A (tension  $v_{AN}$ ) est initialement connectée à la tension max du réseau, puis à la tension min à l'instant  $t_1$ , puis à int à l'instant  $t_2$ , et enfin revient à max à  $t_3$ . L'algorithme proposé dans nos travaux [6] permet la détermination systématique de ces séquences et instants de commutation à tout moment, et permet à chaque fois de minimiser les pertes en respectant la contrainte suivante pour assurer la commutation douce ZVS (zero-voltage switching) :

- toute baisse de tension s'effectue sous courant positif
- le courant est négatif pour toute hausse de tension

### 3 Résultats

Les résultats des Figs. 3 et 4 confirment l'obtention, après filtrage, de courants sinusoïdaux injectés sur le réseau avec le déphasage souhaité, et que les commutations se produisent en ZVS, ce qui réduit fortement les pertes et améliore le rendement global. Afin de vérifier les performances de la solution proposée, la Fig. 5 compare cette dernière

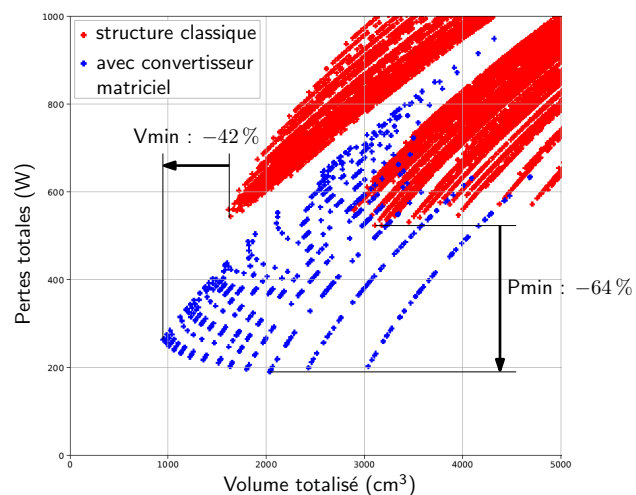


FIGURE 5 – Comparaison du compromis pertes/volume

avec une structure classique en explorant l'influence de diverses variables de conception (fréquence, technologies de semiconducteurs, composants de filtrage). Le résultat met en évidence un gain significatif (de 40 % à 60 %) à la fois sur les pertes et le volume des composants principaux.

### 4 Conclusions

Les performances obtenues valident l'intérêt des convertisseurs comportant un étage matriciel avec la méthode de commande proposée pour les applications de chargeurs de véhicules électriques compacts à haut rendement.

En perspective, les travaux se poursuivront par la réalisation d'un prototype complet du convertisseur et la mise en œuvre de tests expérimentaux afin de confirmer les résultats simulés en conditions réelles.

## 5 Remerciements

Ces travaux ont bénéficié du projet de maturation “COMMANDO” de la SATT Nord (Société d’Accélération du Transfert de Technologies) en partenariat avec l’Université de Lille.

## Références

- [1] H. Wouters and W. Martinez, *Bidirectional onboard chargers for electric vehicles : State-of-the-art and future trends*, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 39, no. 1, pp. 693–716, Jan. 2024
- [2] L. Schrittwieser, M. Leibl, and J. W. Kolar, *99% efficient isolated three-phase matrix-type DAB buck–boost PFC rectifier*, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 1, pp. 138–157, Jan. 2020
- [3] E. Fayad, D. S. y Rosas, A. Bruyere, and F. Poirier, *Automotive charger grid-forming control opportunities for G2V and V2X applications*, in Proc. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2023
- [4] A. Videt and I. Sagara, *Commande en commutation douce d’un convertisseur matriciel adapté aux applications de recharge embarquée des véhicules électriques*, in Proc. Symposium de Génie Électrique (SGE), 2025.
- [5] H. Zhang, X. Guo, S. Du, B. Li, and B. Wang, *Novel soft-switching modulation strategy for three-phase matrix-DAB converter considering the parasitic parameters of switching devices*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 72, no. 10, pp. 10760–10770, Oct. 2025
- [6] A. Videt, *Procédé de commande d’un convertisseur de puissance*, demande de brevet FR2407022, 2024.