

Simulation des disjoncteurs ultra-rapides pour réseaux électriques ferroviaires

FORUM INNOVATION
INGÉNIERIE | INFORMATIQUE |
ENTREPRENEURIAT | **UQAR**

2025



Mise en contexte

- Les **défauts (courts-circuits)** dans les réseaux électriques ferroviaires en courant continu représentent un danger important (**Figure 1**).
- Les disjoncteurs à interruption ultra-rapide sont des éléments fondamentaux utilisés dans les réseaux ferroviaires à courant continu pour la protection contre les défauts électriques.
- installés autant dans les sous-stations, que dans les trains pour la protection des systèmes de traction à bord [2].



Figure 1 : exemple de court-circuit sur voiture de train (image générée avec Sora).

Mise en contexte

- En courant continu (CC), il est difficile d'interrompre le courant de court-circuit en raison de l'absence d'un passage naturel par zéro du courant (**Figure 2**).
- Les disjoncteurs à courant continu réussissent à rompre l'arc qui apparaît à l'ouverture des contacts en l'étirant et en introduisant une tension d'arc pour l'atténuer et le forcer à s'éteindre [1].

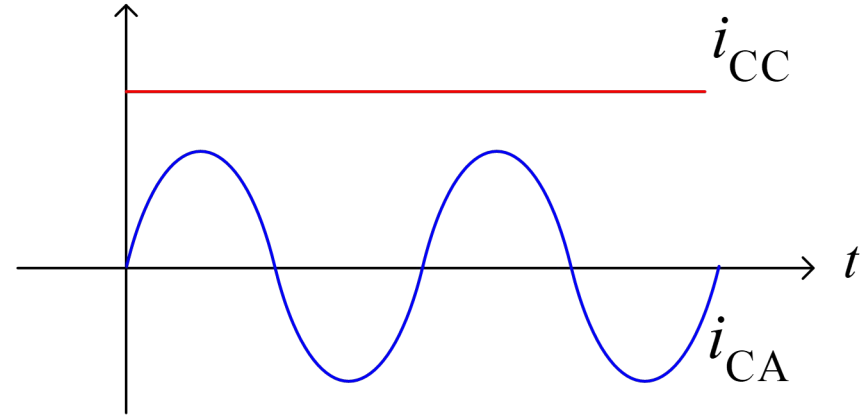


Figure 2 : Courant alternatif vs courant continu.

Problématique

- Les modèles de simulation numériques permettent de simuler leur comportement afin de réaliser des études de protection.
- La majorité des modèles présentés dans la littérature sont conçus pour simuler l'interruption du courant pour un seuil bien précis, ce qui limite considérablement leur utilisation dans d'autres réseaux ou face à d'autres défauts électriques.
- L'un des enjeux majeurs de cette étude est donc de développer des modèles de simulation qui pourraient refléter fidèlement le comportement et la dynamique d'un disjoncteur ultra-rapide réel et ainsi permettre d'obtenir des résultats précis, tout en restant adaptable à différents niveaux de courant.

Méthodologie

1. Revue de littérature

- Étude des disjoncteurs utilisés dans les réseaux ferroviaires DC
- Étude des modèles d'arc électrique.
- Identification des exigences spécifiques aux réseaux ferroviaires à courant continu (temps d'interruption, niveau de courant, etc).

2. Implémentation du modèle de disjoncteur

- Modélisation des disjoncteurs dans EMTP en intégrant les modèles d'arcé
- Paramétrage des modèles selon des données constructeurs et de la littérature.
- Intégration dans un circuit d'essais (réseau ferroviaire DC simplifié).

3. Simulation et analyse des résultats

- Définition des conditions aux limites et des scénarios typiques de défaut.
- Lancement des simulations pour différents types de défauts.
- Analyse de la réaction des modèles face à des variations de conditions.

4. Validation du modèle

- Comparaison des résultats avec les données réelles issues de publications, tests expérimentaux et de manufacturiers.
- Correction et adaptation des modèles développés.

5. Conclusion et recommandations

- Synthèse des résultats obtenus.
- Recommandations pour l'amélioration des modèles de disjoncteurs développés.

Modèles développés sur EMTP®

Cinq modèles ont été implémentés dans le logiciel EMTP® : Cassie [3], Mayr [4], Schwartz [5], Hadebank [6] et KEMA [7]. Ces modèles permettent de :

- définir l'évolution temporelle de la conductance de l'arc, sous la forme d'équations différentielles, basées sur l'équilibre entre l'énergie thermique contenue dans l'arc et l'action de refroidissement pendant le processus d'interruption.
- reproduire avec une bonne précision l'interaction de l'arc électrique avec le reste du circuit [7].

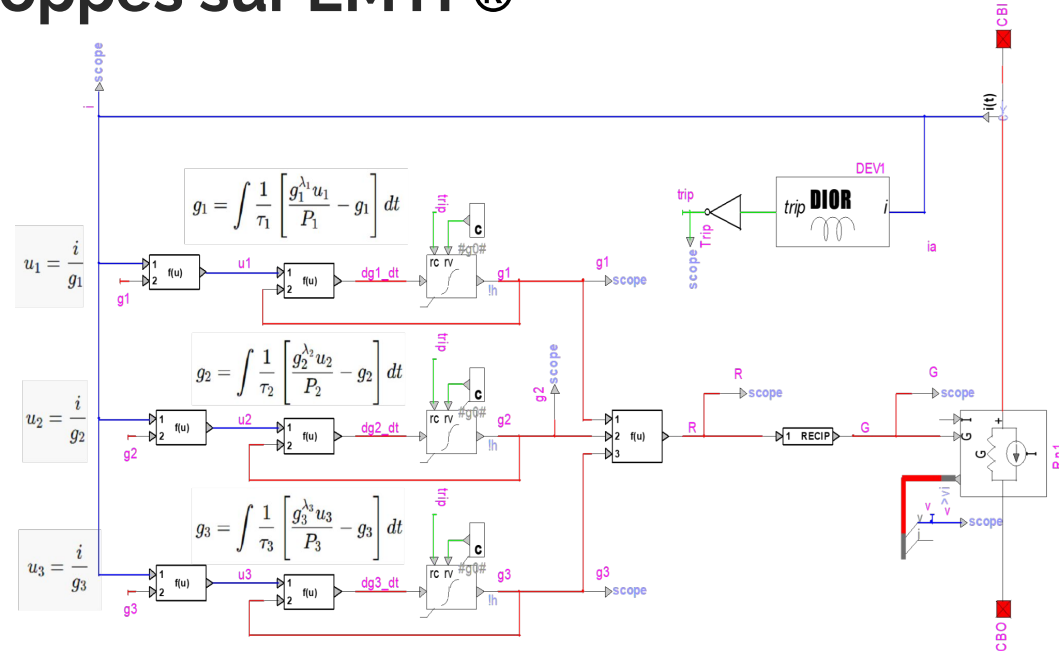


Figure 3 : Exemple de modèle dans EMTP® (KEMA [7]).

Validation des modèles

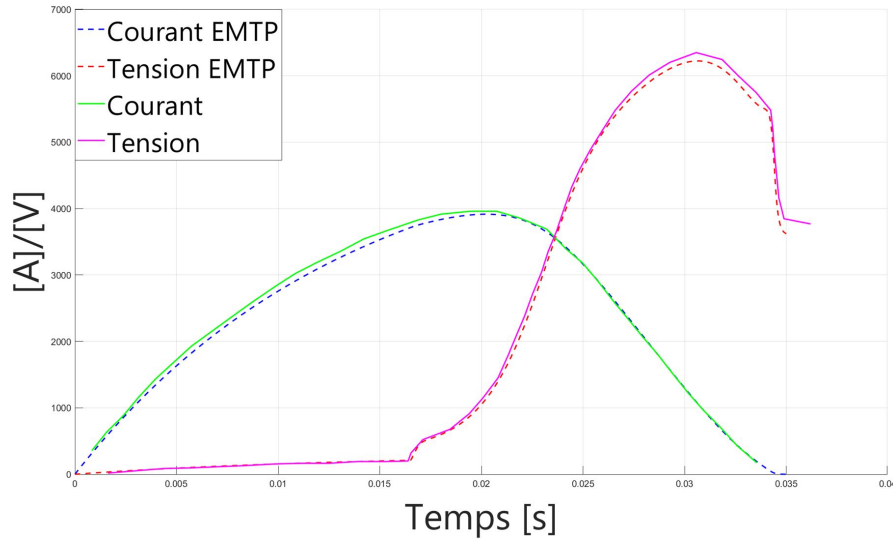


Figure 5 : Validation du modèle de Kema avec les résultats de l'article de référence [8].

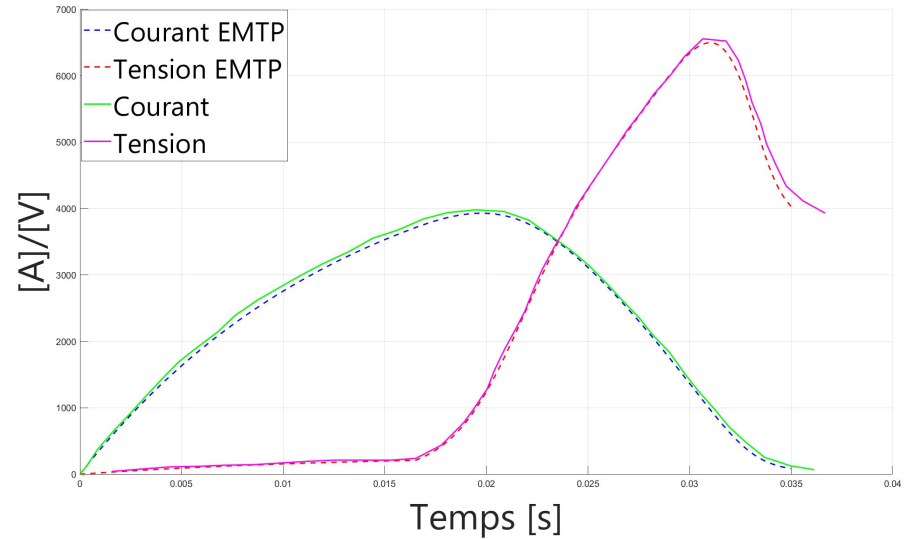


Figure 6 : Validation du modèle de Schwartz avec les résultats de l'article de référence [8].

Travail en cours

- Implémentation du circuit d'essais selon la norme IEC61992-2 afin de tester la réaction et les performances des modèles en différentes situation de défaut.
- Adaptation des modèles pour différents seuils de courant et comparaison avec les fiches techniques du manufacturier.
- Étude des perspectives d'amélioration de performances des modèles de disjoncteurs ultra-rapides développés.

Références

- [1] M. Berger *et al.*, "Performance Analysis of DC Primary Power Protection in Railway Cars using a Transient Analysis Tool," in *Proc. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conf.*, Montréal, QC, Canada, 2015.
- [2] Rojerk, "An Experimental Analysis of DC Magnetic Blowout High-Speed Circuit Breakers Parameters," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2021.
- [3] A. M. Cassie, "Arc rupture and circuit severity: a new theory," CIGRE Report, 1939.
- [4] O. Mayr, "Beiträge zur Theorie des statischen und des dynamischen Lichtbogens," *Archiv für Elektrotechnik*, vol. 37, no. 12, pp. 588–608, 1943.
- [5] J. Schwarz, "Dynamisches Verhalten eines gasbeblasenen, turbulenzbestimmten Schaltlichtbogens," *ETZ-A*, vol. 92, pp. 389–391, 1971.
- [6] U. Habedank, "Application of a new arc model for the evaluation of short-circuit breaking tests," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 8, no. 4, pp. 1921–1925, 1993.
- [7] T. Ohtaka, *et al.*, "Novel Black-Box Arc Model Validated by High-Voltage Circuit Breaker Testing," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 33, no. 4, pp. 1835–1844, Aug. 2018
- [8] F. P. Pessoa *et al.*, "Parameter estimation of DC black-box arc models using genetic algorithms," *Electric Power Systems Research*, vol. 198, p. 107322, 2021

Merci pour votre
attention !

