

# Disjoncteur CC sans formation d'arc pour système de stockage des batteries de réseau

---

Rapport public sur le projet

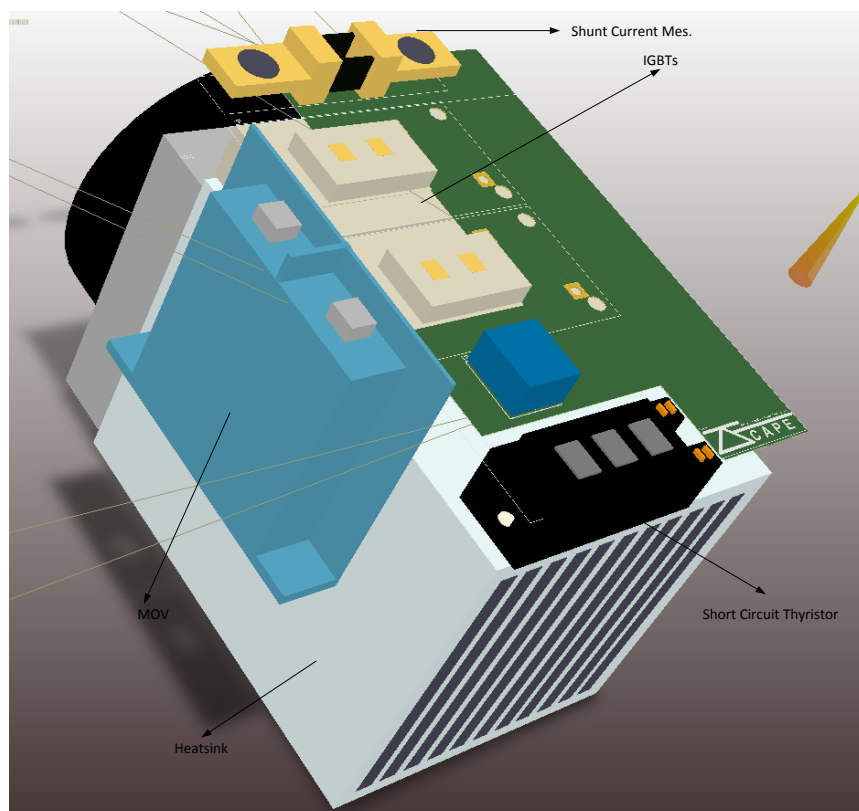
Projet RENE-005

Université de Toronto

10, King's College Rd.

Toronto (ON)

2016



## **Table des matières**

Sommaire .....	3
Introduction.....	4
Contexte .....	5
Objectifs .....	6
Objectif i) .....	6
Objectif ii).....	6
Objectif iii).....	6
Avantages.....	7
Objectifs en matière de développement de la technologie et des connaissances.....	7
Défis et obstacles .....	8
Conclusion et suivi.....	8
Prochaines étapes .....	8

## Sommaire

Ce rapport présente le concept, les activités, les conclusions et les activités résultantes à long terme du projet de R-D écoÉNERGIE # RENE-005 pour la période du 17 octobre 2012 au 31 mars 2016. Ce projet est dirigé par l'Université de Toronto. En plus du responsable du projet, l'équipe du projet était composée de trois chercheurs, deux étudiants de cycle supérieur et deux boursiers de recherches postdoctorales.

Le principal objectif de ce projet était d'étudier et de mettre au point une nouvelle technologie de disjoncteur courant continu (DCC) pour assurer la protection et/ou l'isolement rapides des systèmes de stockage en batteries de qualité service public.

Les disjoncteurs courant continu (CC) protègent et isolent un module de batteries en réaction à des modes de défaillance internes et/ou à des commandes du SGE (système de gestion de l'énergie, ou *Energy Management System* – EMS), afin de garantir un fonctionnement fiable et sécuritaire du système de stockage en batteries. Il n'existe aucun produit DCC techniquement réalisable ou commercialement viable sur le marché pour les applications en systèmes de batteries. À cet égard, le DCC mis au point dans le cadre du présent projet de R-D est nouveau et le concept est innovateur. La principale nouveauté de ce produit est le circuit de suppression auxiliaire (CSA, ou *Auxiliary Suppression Circuit* – ASC), qui prévient activement tout stress des commutateurs électroniques et la formation d'arcs entre les commutateurs mécaniques. Un autre aspect novateur du DCC proposé est sa modularité, qui garantit i) son extensibilité et permet donc l'application de différents niveaux de tension, en fonction d'un bloc de construction de conception optimale; ii) la facilité d'entretien et la réduction du temps d'indisponibilité; et iii) la réduction de l'espace occupé, du coût et de la gestion des pièces de rechange. On doit remarquer que l'application du DCC n'est pas limitée au stockage et peut être étendue sans modification aux micro-réseaux CC à tension faible à moyenne.

La mise au point du DCC élimine l'un des principaux défis ou obstacles techniques à l'acceptation et à l'intégration par le marché du stockage en batteries comme technologie habilitante afin d'accommoder une grande profondeur de pénétration de la production décentralisée et des véhicules électriques et véhicules hybrides rechargeables (VE-VHR) dans le contexte des systèmes de distribution intelligents. Cette technologie constituera un important avantage canadien et apportera des bienfaits environnementaux et économiques pour le Canada. En outre, l'Université de Toronto offrira une formation aux étudiants de cycle supérieur au niveau de la maîtrise et du doctorat sur les sujets de recherche liés à l'électricité propre et renouvelable et à l'intégration des ressources renouvelables et des VE-VHR fondée sur l'utilisation des systèmes de stockage en batteries, ce qui développera encore davantage l'expertise compétitive du Canada dans ce domaine.

## Introduction

L'intégration des sources d'énergie renouvelable dans le réseau présente d'importants avantages économiques et environnementaux pour les Canadiens et, par conséquent, l'augmentation de la production d'électricité issue de ces sources a considérablement augmenté avec l'appui des politiques fédérales et provinciales et l'intérêt du public et des industries. Toutefois, de nombreuses sources d'énergie renouvelable sont décentralisées et variables, ce qui exerce une grande pression sur un réseau électrique conçu il y a des décennies pour composer avec de grosses génératrices dont l'énergie produite peut être acheminée. En outre, le réseau électrique moderne devra relever le défi de la recharge des véhicules électriques.

Le stockage d'électricité au moyen de batteries à l'échelle des services publics est une possibilité naissante importante pour gérer les défis supplémentaires posés aux réseaux de distribution d'énergie modernes par un approvisionnement et une demande variables.

Compte tenu des importants avantages potentiels des technologies de stockage de l'énergie pour appuyer l'intégration de l'énergie renouvelable au Canada, l'appel lancé par l'initiative écoÉNERGIE sur l'innovation de propositions de recherche et de développement a cerné cet aspect comme partie intégrante de la portée dudit appel de propositions, et la proposition de l'Université de Toronto visant la mise au point d'un disjoncteur courant continu (DCC) a été sélectionnée aux fins de financement. Le DCC est un dispositif électrique visant à protéger un système de batteries soumis à des courants anormaux, p. ex. découlant de scénarios de surcharge soudaine comme des défaillances de composantes internes et des courts-circuits internes dans le système de batteries. Sa fonction de base est d'interrompre rapidement le courant électrique après détection de conditions anormales.

La mise au point du DCC élimine l'un des principaux défis ou obstacles techniques à l'acceptation par le marché et à l'application à grande échelle du stockage en batteries comme technologie habilitante afin i) d'accommoder une grande profondeur de pénétration de la production décentralisée de même que des véhicules électriques (VE) et véhicules hybrides rechargeables (VHR) dans le contexte des systèmes de distribution intelligents et ii) de faciliter l'intégration des ressources énergétiques solaires et éoliennes dans les collectivités éloignées afin de réduire la consommation de carburant diesel. Il n'existe actuellement aucune technologie éprouvée et acceptée qui soit attrayante du point de vue économique comme DCC pour de telles applications.

L'Université de Toronto a mis au point deux nouveaux concepts de DCC dans le cadre de ce projet, fondés sur des montages de circuits nouvellement mis au point qui promettent d'offrir une option commercialement viable.

## Contexte

Le DCC est un dispositif électrique visant à protéger un système de courant continu (CC) soumis à des courants anormaux, p. ex. découlant de scénarios de surcharge soudaine comme des défaillances de composantes internes et des courts-circuits internes dans le système CC. Sa fonction de base est d'interrompre rapidement le courant électrique après détection de conditions anormales.

Interrompre le courant dans un système CC pose davantage de problèmes que dans un système à courant alternatif (CA), puisqu'aucun point naturel à courant zéro n'est disponible et que l'énergie magnétique stockée dans l'inductance du circuit doit être dissipée. Les disjoncteurs doivent non seulement pouvoir interrompre le courant, mais également le réduire à zéro dans un certain délai. Pendant le processus d'interruption, il ne faut pas créer une tension excessivement élevée dans le système.

Il existe deux manières de créer un courant zéro. La première est la méthode traditionnelle utilisée dans les circuits CC : un dispositif de commutation crée une tension d'arc qui dépasse considérablement la tension du système. La seconde méthode crée un courant zéro virtuel en produisant un contre-courant à partir de circuits de commutation auxiliaires. Ce contre-courant est habituellement fourni par une batterie de condensateurs au moyen d'un circuit résonnant.

Beaucoup d'activités de recherche et développement ont été réalisées sur les disjoncteurs CC jusque dans les années 1980. Après 1985, l'intérêt pour les disjoncteurs CC a considérablement diminué et ce n'est qu'au cours des dernières années, avec l'intérêt porté aux réseaux CCHT<sup>1</sup> et les DER<sup>2</sup>, que l'on s'y est à nouveau intéressé.

Certaines propositions de systèmes haute tension ont été formulées, mais aucune d'elles n'a prouvé son efficacité ou remporté de succès dans des applications réelles.

On a également discuté de commutateurs à semi-conducteurs purs, non seulement pour les CCHT mais aussi pour les systèmes CA et CC à basse et moyenne tension. L'avantage net est que le temps de commutation peut être très court par comparaison avec les quelques ms<sup>3</sup> (dix) d'un commutateur mécanique à contacts métalliques qui se séparent. Les principaux inconvénients sont le coût et le fait que la résistance en mode conducteur est de l'ordre de quelques mΩ, et donc considérablement plus élevée que les quelques μΩ d'un commutateur mécanique. Les pertes totales en conduction avant des dispositifs à semi-conducteurs sont d'environ 0,1 à 0,4 % de l'énergie transmise.

L'Université de Toronto a élaboré deux nouveaux concepts de DCC dans le cadre de ce projet, fondés sur des circuits nouvellement mis au point, qui promettent d'offrir une option commercialement viable.

---

<sup>1</sup> Courant continu haute tension

<sup>2</sup> Ressources énergétiques distribuées (*Distributed Energy Resources*)

<sup>3</sup> Millisecondes

## Objectifs

Le principal objectif de ce projet consiste à réaliser des activités de recherche et de développement relativement à une nouvelle technologie de disjoncteur de circuit courant continu (CC) permettant une protection et un isolement rapide des systèmes de stockage des batteries commerciales. Le projet visait un système de batteries composé de multiples modules de batteries au lithium-ion. Deux concepts ont été mis au point : 1) DCC-1 : un commutateur d'alimentation électronique bidirectionnel et 2) DCC-2 : un commutateur mécanique rapide. Les objectifs de ce projet sont les suivants :

- i) validation de principe du concept DCC-1;
- ii) mise au point et essais en laboratoire d'un prototype DCC-1 pleine grandeur prêt à être installé et mis à l'essai en site-pilote;
- iii) études de faisabilité et validation de principe du concept DCC-2 en fonction d'études de simulations et de scénarios d'essai d'un prototype à l'échelle du laboratoire.

### **Objectif i)**

Le DCC-1 est un commutateur d'alimentation électronique bidirectionnel, c.-à-d. deux transistors bipolaires à porte isolée (*Insulated Gate Bipolar Transistor* - IGBT) avec leurs diodes à montage antiparallèle, qui peuvent être activées ou désactivées par les signaux de déclenchement des IGBT. Afin d'atteindre cet objectif, une analyse de simulation complète a été réalisée afin de cerner les principales caractéristiques de rendement du DCC-1.

### **Objectif ii)**

Pour atteindre l'objectif ii), une unité à l'échelle de DCC-1 (20-ACC/200-VCC) a été conçue, mise au point et mise à l'essai. Le prototype mis au point est utilisé pour la validation de principe et la vérification des résultats des analyses et de la simulation. Certaines des étapes principales de la mise au point du prototype pleine grandeur du DCC-1 sont l'acquisition des composants, l'élaboration des scénarios et configurations d'essai expérimental, la vérification et la modification de la conception par étapes, la sélection du site-pilote, l'élaboration de scénarios et de procédures d'essai et la réalisation d'essais sur le site-pilote. D'après les résultats obtenus grâce à la simulation et à l'unité de DCC-1 à l'échelle, on a mis au point un prototype pleine grandeur qui est prêt pour les conditions de terrain réelles sur un site-pilote.

### **Objectif iii)**

Le DCC-2 utilise un commutateur mécanique rapide, c.-à-d. un contacteur à haute vitesse, plutôt que le commutateur électronique de DCC-1. Pour atteindre l'objectif iii), on a réalisé une analyse de simulation complète afin de cerner les principales caractéristiques de rendement du DCC-2 et on a conçu, mis au point et mis à l'essai une unité à l'échelle de DCC-2.

## **Avantages**

Le résultat du projet est une technologie de DCC qui permet d'utiliser un système commercial de stockage en batteries dans des applications rentables et polyvalentes.

Les résultats du projet constituent un grand pas en avant pour i) permettre la prolifération du stockage de l'électricité comme moyen viable et économique d'accroître la part de la production d'électricité à partir de sources renouvelables, ii) faciliter l'intégration des VE et VHR afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les autres émissions associées aux centrales thermiques conventionnelles et iii) compenser les émissions du secteur des transports. La disponibilité d'un stockage en batteries fiable et économique permet de réduire les coûts de production d'électricité dans les collectivités éloignées du Canada en réduisant la consommation de carburant diesel par l'intégration des énergies solaire et éolienne. Cela permettra donc au gouvernement de réduire sa part des coûts du carburant pour les collectivités éloignées.

Cette technologie constituera un important avantage canadien et apportera des bienfaits environnementaux et économiques pour le Canada. En outre, l'Université de Toronto offrira une formation aux étudiants cycle supérieur au niveau de la maîtrise et du doctorat sur les sujets de recherche liés à l'électricité propre et renouvelable et à l'intégration des ressources renouvelables et des VE-VHR fondée sur l'utilisation des systèmes de stockage en batteries, ce qui développera encore davantage l'expertise compétitive du Canada dans ce domaine.

Le projet a permis de mettre au point une technologie de DCC prête pour des essais sur le terrain, qui améliore le caractère acceptable de ce système de batteries par le marché, ce qui pourrait engendrer de nouveaux emplois et offrir au personnel une formation de grande qualité sur l'énergie propre et les ressources renouvelables.

## **Objectifs en matière de développement de la technologie et des connaissances**

Les principales contributions du projet sont les suivantes : i) mise au point d'une nouvelle technologie, le DCC pour le système de batteries au lithium-ion, et ii) nouvelles connaissances liées au contrôle, à la protection et à l'exploitation de la batterie intégrée au réseau et dotée du DCC mis au point.

Il n'existe aucun produit DCC techniquement réalisable ou commercialement viable sur le marché pour ce type d'application à un système de batteries. À cet égard, le DCC mis au point dans le cadre du présent projet de R-D est nouveau et le concept est innovateur. La principale nouveauté de ce produit est le circuit de suppression auxiliaire (CSA, ou *Auxiliary Suppression Circuit – ASC*), qui prévient activement tout stress des commutateurs électroniques (DCC-1) et la formation d'arcs entre les commutateurs mécaniques (DCC-2). Un autre aspect novateur du DCC proposé est sa modularité, qui garantit i) son extensibilité et permet donc l'application de différents niveaux de tension, en fonction d'un bloc de construction de conception optimale; ii) la facilité d'entretien et la réduction du temps d'indisponibilité; et iii) la réduction de l'espace occupé, du coût et de la gestion des pièces de rechange.

La propriété intellectuelle associée à la technologie de DCC est dévolue à l'Université de Toronto. Nous prévoyons obtenir deux ou trois brevets fondés sur les résultats des activités de R-D et nous espérons remplir les demandes de brevet. Une fois les droits de propriété intellectuelle obtenus, les résultats des activités de R-D seront publiés dans des articles de journaux et présentés lors de conférences et de séances de groupes d'experts techniques. On organisera des ateliers à l'Université de Toronto ou des expositions techniques afin de présenter la technologie à l'industrie dans son ensemble.

## **Défis et obstacles**

Il n'existe pour le moment aucun produit DCC techniquement réalisable ou commercialement viable sur le marché pour les applications en systèmes de batteries. L'un des principaux défis techniques, qui est également une lacune dans les connaissances sur l'intégration fiable et rentable des technologies de batteries en général et des technologies de batteries au lithium-ion en particulier, est la mise au point d'un mécanisme permettant de protéger la batterie et de l'isoler rapidement du reste du système en situation d'urgence, soit d'après le système de gestion d'urgence de la batterie, soit d'après les commandes du contrôleur réseau de l'unité batterie-convertisseur. Ce projet engendre une nouvelle technologie qui offre une solution rentable au problème des systèmes de stockage en batteries d'une capacité allant de quelques centaines de kW à plusieurs MW pour des applications à basse et moyenne tension.

## **Conclusion et suivi**

Les résultats du projet sont les suivants :

- i) validation de principe du DCC-1,
- ii) mise au point et essais en laboratoire d'un prototype DCC-1 pleine grandeur prêt à être installé et mis à l'essai en site-pilote,
- iii) études de faisabilité et validation de principe du concept DCC-2 en fonction d'études de simulations et de scénarios d'essai d'un prototype à l'échelle du laboratoire.

## ***Prochaines étapes***

Les objectifs du projet pour les prochaines étapes sont les suivants :

- i) essais en site-pilote et commercialisation de DCC-1,
- ii) élaboration d'un prototype pleine grandeur et essais en site-pilote de DCC-2,
- iii) validation de principe et mise au point et à l'essai d'un DCC à modules multiples à l'échelle du laboratoire,
- iv) évaluation des configurations à modules multiples de DCC-1 et DCC-2.

Nos objectifs à long terme sont les suivants :

- i) commercialisation de la configuration DCC-2;
- ii) commercialisation de DCC à modules multiples (DCC-3) pour les applications à tension CC moyenne dans un collecteur CC pour les centrales



éoliennes, dans un système de collecteur CC pour les centrales solaires et dans des micro-réseaux CC;

iii) validation de principe de DCC-3.