

RECHERCHE SUR LES NORMES

Miniréseaux CC dans les bâtiments

Mars 2019

Auteurs

Itai Gal
Assistant de recherche
AES Engineering Ltd.
1710 – 10060 Jasper Ave
Edmonton, AB, T5J 3R8

Brent Lipson
Chargé de projet
AES Engineering Ltd.
1330 Granville Street
Vancouver, BC, V6Z 1M7

Trina Larsen
Directrice
AES Engineering Ltd.
1710 – 10060 Jasper Ave
Edmonton, AB, T5J 3R8

Ark Tsisserev
Associé principal
AES Engineering Ltd.
1330 Granville Street
Vancouver, BC, V6Z 1M7

Chargé de projet, Groupe CSA

Julian Mereuta
Chargé de projet, Développement des normes
Énergie, production et distribution d'électricité

Table des matières

Sommaire 5

Introduction 6

- Objectifs de l'étude 6
- Histoire – La guerre des courants 6
- Le retour du courant continu 7
- À propos des miniréseaux 8

1 Contexte et moteurs du secteur 9

- 1.1 Initiatives et normes de développement durable du gouvernement 9
- 1.2 Croissance de l'intégration des RÉD 10
- 1.3 Augmentation des charges CC 12
- 1.4 Numérisation de l'énergie et automatisation des bâtiments 12

2 Études de cas de miniréseaux CC 13

3 Révision des codes et des normes 15

- 3.1 Modifications des normes et du *Code canadien de l'électricité* de 2018 15
- 3.2 Mises à jour récentes du Code – États-Unis et international 16
  - 3.2.1 Modifications au *National Electrical Code* (États-Unis) de 2017 16
  - 3.2.2 Fondation de recherche de la NFPA 16
  - 3.2.3 Élaboration des normes de l'IEEE 17
  - 3.2.4 Élaboration des normes de la CEI 17
  - 3.2.5 Élaboration des normes « EMerge Alliance » 17
  - 3.2.6 Codes du bâtiment de Californie 18

4 Avantages, obstacles et considérations supplémentaires concernant les miniréseaux CC 18

- 4.1 Avantages 18
- 4.2 Obstacles 19
  - 4.2.1 Disponibilité des produits 19
  - 4.2.2 Développement de projets et conception personnalisée 19
- 4.3 Considérations relatives à la conception 20
- 4.4 Considérations supplémentaires 20
  - 4.4.1 Applications adaptées 20
  - 4.4.2 Produits 21

4.4.3 Interaction avec les services publics 21
4.4.4 Opinion publique 21
4.4.5 Connaissances des acteurs du secteur 22
5 Analyse des écarts des normes et des codes 22
5.1 Niveaux de tension standard 23
5.2 Principales exigences des produits 24
5.2.1 Mesure des revenus dans les circuits CC 24
5.2.2 Configurations de prises de courant standard 25
5.2.3 Dispositifs de protection CC 25
5.2.4 Dispositifs de conversion d'alimentation CC 26
5.2.5 Éclairage 27
5.2.6 Équipement mécanique 27
5.2.7 Équipement de charge d'un véhicule électrique 28
5.2.8 Entreposage 29
5.2.9 Câblage 29
5.2.10 Autres produits 29
5.3 Principales exigences d'installation 30
5.3.1 Interconnexion des RÉD 30
5.3.2 Systèmes de sécurité des personnes à connexion électrique 32
5.3.3 Circuits de classe 2 32
5.3.4 Exigences relatives à la mise à la terre 32
5.3.5 Exigences de protection des circuits 32
5.4 Applications de modernisation 32
5.5 Services publics et privés 32
5.6 Méthodologie d'élaboration de code 33
Conclusion 33
Références 35
ANNEXE A : Matrice de l'étude de cas 38
ANNEXE B : Questionnaire pour l'entrevue d'étude de cas 45
ANNEXE C : Normes internationales 46

Sommaire

Depuis l'arrivée de l'électricité, le courant alternatif (CA) a été la forme de distribution d'électricité la plus présente. Après les premières années de l'industrie électrique, mais avant l'apparition d'une norme claire, les bâtiments ont été alimentés en courant alternatif, tandis que l'alimentation en courant continu (CC) a été limitée à quelques applications spécialisées. Récemment, de nouveaux facteurs technologiques et économiques ont fait l'objet d'un argumentaire convaincant pour l'expansion de l'utilisation de l'énergie CC aux bâtiments. Avec l'adoption croissante de l'électronique à semi-conducteurs, des sources d'énergie photovoltaïque solaire, d'autres systèmes d'énergie renouvelable et des systèmes de stockage d'énergie qui fournissent une alimentation CC, il existe un potentiel croissant pour les équipements de production, de distribution, de stockage et d'utilisation à base de courant continu.

Cela a suscité l'intérêt du concept de « miniréseaux » CC, qui sont des systèmes composés de charges CC et de ressources d'énergie distribuées qui peuvent fonctionner indépendamment en cas de perte de l'alimentation CA normale. Outre les avantages de résilience des miniréseaux CC, la distribution de l'alimentation CC peut offrir des gains d'efficacité, car plusieurs conversions CA/CC sont évitées. Les miniréseaux CC offrent une résilience, une sécurité, des performances, une efficacité et une stabilité accrues, ainsi que des capacités de format prêt à l'emploi. De plus, l'infrastructure CC peut jouer un rôle majeur dans la distribution d'énergie dans un « réseau intelligent », ainsi que dans la décentralisation et la numérisation.

La présente étude a examiné les tendances actuelles en matière de technologie de distribution basée sur le CC, y compris les activités de développement des normes, et a évalué quarante-trois miniréseaux CC récents (y compris les projets commerciaux, institutionnels, industriels et résidentiels à nanoréseau).

Une analyse de l'environnement des normes actuel a été menée pour déterminer les écarts et identifier les étapes les plus critiques pour permettre l'adoption de systèmes d'alimentation CC. Les priorités les plus élevées ont été définies comme suit :

1. Établissement de niveaux et de plages de tension CC standard;
2. Développement de critères d'approbation pour les équipements de mesure de l'alimentation CC pour la facturation des revenus;
3. Établissement de configurations de prises de courant standard pour les circuits CC;
4. Mise à jour des normes des produits pour permettre la commercialisation d'éclairages, d'entraînements par moteur et d'équipements de charge de véhicules électriques en courant continu;
5. Clarification des règles d'interconnexion des ressources énergétiques distribuées;
6. Détermination des dispositions d'installation de sécurité des personnes pour les miniréseaux CC; et
7. Élaboration des normes de produit et des règles d'installation pour les dispositifs de protection CC.

Introduction

Objectifs de l'étude

Cette étude vise à évaluer l'état actuel de la distribution de courant continu (CC) et à aborder l'adoption des miniréseaux CC et de l'infrastructure de distribution CC dans les bâtiments. Cela inclut les éléments fonctionnant ou destinés à fonctionner à toutes les tensions dans les installations électriques pour les structures et les locaux, y compris les structures d'installations électriques relocalisables et non déplaçables, situées à l'intérieur ou à l'extérieur.

La première étape de l'étude a réuni et documenté des études de cas mondiales concernant des bâtiments alimentés par courant continu et des miniréseaux construits à ce jour. Les systèmes pertinents pour l'étude incluaient des projets de construction avec des composants d'alimentation CC, des miniréseaux CC et des systèmes généraux de distribution d'énergie CC, qui alimentent les charges typiques d'un bâtiment comme l'éclairage, les systèmes mécaniques, l'équipement de distribution et d'utilisation et les appareils électriques. Dans la mesure du possible, les participants au projet ont été consultés pour étudier leurs « leçons apprises » et identifier les facteurs de l'adoption des systèmes de distribution à base de courant continu, ainsi que les obstacles à leur adoption, en ce qui a trait aux normes et aux dispositions d'installation pertinentes pour l'équipement. Grâce aux études de cas, les raisons du travail de normalisation deviennent évidentes.

La deuxième étape de l'étude incluait une revue des codes et normes nationaux et internationaux pertinents relatifs à l'alimentation CC. En s'appuyant sur ces deux efforts, l'étude a pu évaluer les besoins de l'industrie dans ce domaine du point de vue du développement des normes.

Histoire – La guerre des courants

Aujourd'hui, presque toutes les maisons ou entreprises sont alimentées par des systèmes d'alimentation à courant alternatif (CA), transmis depuis de grandes centrales électriques sur de longues distances. Bien que nous prenions cela comme acquis aujourd'hui, ce n'était pas le cas il y a 130 ans. La conception de l'ampoule à incandescence de Thomas Edison a été une première étape dans le passage de l'éclairage à base de gaz et d'huile à une électricité moderne. Pour brancher une série de lampes d'une taille économiquement gérable, Edison a calculé l'épaisseur de fil de cuivre nécessaire et s'est rendu compte que la lampe devait fonctionner sous basse tension, bien que les lampes à incandescence puissent être construites pour fonctionner sur une alimentation CA ou CC.

En 1882, le service public d'Edison est devenu de plus en plus important dans l'alimentation des bâtiments par un réseau de distribution de 110 volts CC. Le système d'Edison fonctionnait également bien avec les batteries, les moteurs CC et les génératrices. Il avait même un compteur d'énergie CC à des fins de facturation. Toutefois, ce type de système présentait des limites de taille, car la chute de tension sur les fils nécessitait que l'usine de génération ne se trouve pas à plus d'un kilomètre du consommateur. Le coût des gros fils de cuivre requis était également trop élevé.

Au milieu des années 1880, les ingénieurs de Westinghouse ont construit les premières installations commerciales de transformateurs de courant alternatif, bien que des prototypes aient été développés en Europe au cours des années précédentes. Il s'agissait là d'un bond en avant pour le courant alternatif, permettant à la tension d'être augmentée ou réduite et d'améliorer l'efficacité de la transmission de l'électricité haute tension/basse intensité.

George Westinghouse est entré dans le commerce du courant alternatif en 1884 et est rapidement devenu le concurrent d'Edison. Sa société a acquis quelques-uns des anciens brevets basés sur le CA de Nikola Tesla, l'employé d'Edison, et a affiné les composants des systèmes d'alimentation CA que nous connaissons aujourd'hui (notamment, les systèmes d'alimentation triphasés, les transformateurs, les moteurs à induction et les compteurs d'énergie à disque à induction), faisant de la distribution d'énergie CA une solution commercialement viable par rapport au CC.

Au cours des années suivantes, Edison a mené une campagne publique pour décourager l'utilisation du CA. La campagne faisait pression sur les lois de l'État et

diffusait de la désinformation dans les médias de New York. Dans son effort pour montrer les dangers du CA, Edison a même demandé à plusieurs techniciens d'électrocuter publiquement des animaux à l'aide d'une alimentation CA. Peu de temps après, les employés d'Edison ont conçu la première chaise électrique pour l'État de New York, en utilisant l'alimentation CA pour, encore une fois, faire connaître ses risques. Durant la même période, une « panique du fil électrique » s'est produite à New York, lorsque quelques décès par électrocution ont suscité un débat public et des inquiétudes concernant les câbles de distribution aériens. Ces événements et d'autres ont conduit au développement initial de normes et de codes sur la sécurité électrique.

Malgré les controverses en matière de sécurité, Westinghouse a remporté l'appel d'offres visant à alimenter la foire mondiale de Chicago en 1893. Cette même année, la Niagara Falls Power Company a décidé d'accorder à Westinghouse le contrat de production d'énergie des chutes du Niagara. Le projet a réussi et, le 16 novembre 1896, Buffalo était allumée par l'alimentation CA. Cette étape a marqué le déclin du courant continu pour les années à venir.

Le retour du courant continu

Bien que l'alimentation CA soit le principal paradigme depuis la fin du XIX^{e} siècle, l'alimentation CC est également restée utilisée depuis cette période pour les applications nécessitant un stockage sur batterie ou les caractéristiques uniques des moteurs CC. Toutefois, l'alimentation étant principalement distribuée en CA, une grande majorité des produits, composants, codes et normes électriques ont été conçus pour l'alimentation en CA. Cependant, les développements réalisés ces dernières décennies ont permis d'améliorer la commodité et les avantages du CC, encourageant ainsi la reconsidération des systèmes CC pour la distribution d'énergie générale.

Avec l'invention de l'électronique à semi-conducteurs dans les années 1970, la conversion économique entre le courant alternatif et le courant continu est devenue possible. Depuis, l'alimentation CC est devenue très répandue dans les lignes de transmission CC haute tension, l'informatique, les télécommunications, le transport par rail léger, les entraînements par moteur et, au cours des dernières années, l'éclairage à semi-conducteurs. Plus important encore, l'électronique moderne fonctionne naturellement avec le courant continu plutôt qu'avec le courant alternatif. Voici des exemples courants : ordinateurs portables, téléphones cellulaires et tablettes, ampoules à diodes électroluminescentes (DEL), écrans plats et un univers en pleine expansion de dispositifs intelligents comprenant l'« Internet des objets » (IDO). Bien que l'électronique de puissance soit intégrée aux affichages numériques et aux circuits de commande, elle est également courante dans de nombreux appareils et équipements de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) pour intégrer des moteurs entraînés par la technologie CC sans balais (commutation électronique) ou des variateurs de fréquence. Ces technologies d'entraînement par moteur utilisent une alimentation CC modulée pour entraîner les moteurs à induction CA avec une efficacité et une précision de commande supérieures.

Du côté de la production, une augmentation des technologies d'énergie renouvelable est à l'origine de la tendance vers les ressources d'énergie distribuée (RÉD). Les sources de production distribuées telles que les panneaux photovoltaïques solaires produisent intrinsèquement de l'énergie CC sur place, tandis que l'énergie éolienne utilise la conversion d'alimentation CC pour permettre son fonctionnement asynchrone à partir du réseau CA. Les véhicules électriques (VÉ) et le stockage sur batteries à grande échelle sont d'autres types de RÉD à alimentation CC qui ont une croissance commerciale rapide.

L'utilisation de ces technologies avec l'alimentation CA héritée du réseau nécessite plusieurs conversions CA à CC. L'idée d'un bâtiment fonctionnant sur une base à courant continu est intéressante, car elle utilise une alimentation CC produite qui est consommée par plusieurs charges CC. Une telle conception promet une efficacité accrue, des coûts d'exploitation réduits et une indépendance potentielle par rapport au réseau. Un miniréseau à alimentation CC est également plus stable, gérable et interopérable [1, 2], et peut coûter moins cher à installer dans certaines applications [3, 4] que son équivalent en CA.

Figure 1 : *Miniréseaux CA/CC hybrides – « Statu Quo » (Source : EMerge Alliance)*

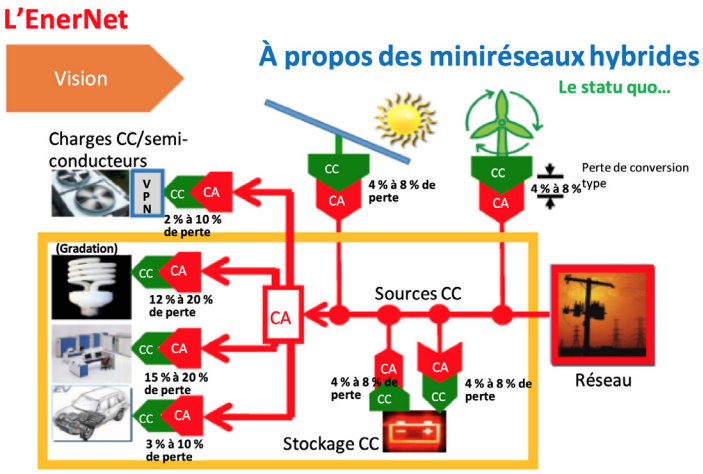
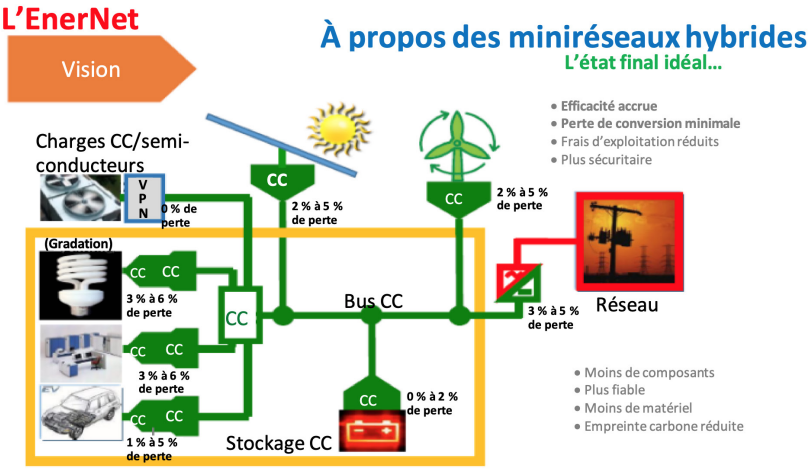


Figure 2 : *Miniréseaux CC – « L'état final idéal » (Source : EMerge Alliance)*



Les figures 1 et 2 montrent deux bâtiments modernes intégrant des sources solaires, éoliennes et liées au réseau, le stockage d'énergie et certaines charges de construction types. Les deux modes de distribution sont différenciés par des lignes rouges représentant l'alimentation CA et des lignes vertes représentant l'alimentation CC. La figure 1 illustre le « statu quo » type d'un bâtiment alimenté en courant alternatif où l'alimentation est convertie en courant alternatif à plusieurs endroits. La figure 2, cependant, représente un réseau de distribution CC où la seule conversion CA/CC est effectuée à la connexion au réseau. Les conversions CC/CC restantes présentent généralement des pertes plus faibles.

À propos des miniréseaux

Les réseaux électriques matures des pays industrialisés d'aujourd'hui utilisent principalement des installations de production à l'échelle de plusieurs mégawatts à des gigawatts et des milliers de kilomètres de lignes de transmission haute tension, ainsi que de nombreuses sous-stations. Dans la plupart de ces pays, la principale source d'énergie est les combustibles fossiles, avec des émissions de gaz à effet de serre (GES) comme le dioxyde de carbone et le méthane. Mais le réseau d'aujourd'hui n'est pas une entité statique : des changements sans précédent découlent de la nécessité de réduire les émissions de GES, de remplacer l'infrastructure

vieillissante et de réduire les coûts d'électricité. L'amélioration de la fiabilité et de la résilience est également importante, car les conditions météorologiques rigoureuses, les pannes en cascade, les cyberattaques et les attaques physiques peuvent compromettre des installations critiques comme les soins de santé et l'infrastructure de traitement de l'eau [5].

Un « miniréseau », comme défini par le Département américain de l'énergie (DoE), est un « groupe de charges interconnectées et de ressources d'énergie distribuées dans des limites électriques clairement définies qui agit comme une entité contrôlable unique par rapport au réseau. Un miniréseau peut se connecter au réseau et s'y déconnecter pour pouvoir fonctionner à la fois en mode connecté au réseau ou en mode îlot. » En effet, les miniréseaux sont apparus comme une infrastructure flexible qui, avec les mécanismes de contrôle de réseau appropriés, répond aux difficultés ci-dessus. Les miniréseaux, qu'il s'agisse d'un seul bâtiment ou de quelques entités connectées, peuvent améliorer les réseaux à grande échelle matures ou soutenir les communautés rurales avec leur première introduction d'électricité. Brian Patterson d'EMerge Alliance a proposé le terme « Enernet » comme vision du réseau futur, qui repose sur des couches d'interopérabilité entre les réseaux nano, mini et à macro.

D'une certaine manière, avec l'avènement des miniréseaux CC, nous pouvons finalement envisager une migration vers des systèmes CC similaires à la vision d'Edison de 121 usines distribuant l'électricité aux foyers américains à 110 V CC. Comme c'était le cas par le passé, et peut-être plus important encore aujourd'hui, la sécurité des personnes et contre les incendies est une priorité absolue. C'est pourquoi, pour que cette niche technologique soit adoptée dans le commerce, il est essentiel de disposer de normes strictes en matière d'installation et de produits.

1 Contexte et moteurs du secteur

Plusieurs tendances mondiales et nationales sont à l'origine de l'adoption des systèmes de distribution CC dans les bâtiments. Les principaux facteurs sont les objectifs et les initiatives du gouvernement en matière d'énergie verte, la croissance de l'intégration de RÉD, l'augmentation des charges natives CC et les avancées en matière d'automatisation des bâtiments.

1.1 Initiatives et normes de développement durable du gouvernement

Selon un rapport établi en 2017 sur les ressources naturelles au Canada (RNCan), 17 % des émissions de gaz à effet de serre du Canada proviennent de l'alimentation de nos bâtiments [6]. RNCan a également constaté une augmentation de 35 % de la consommation d'énergie commerciale et institutionnelle entre 1990 et 2015, mais qui aurait augmenté de 58 % sans amélioration de l'efficacité énergétique [7]. En 2015, le Canada s'est joint à une grande partie du monde lors des conférences sur le climat de Paris afin de réduire les émissions de carbone de 30 % sous les niveaux de 2005 d'ici 2030. Aujourd'hui, l'accent mis sur l'énergie propre présente des occasions de solutions et de technologies économiques en matière d'efficacité énergétique, comme les miniréseaux d'alimentation CC.

Une construction intelligente – une stratégie canadienne pour les bâtiments est un moteur essentiel du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques [6]. L'un de ses objectifs est de permettre aux gouvernements d'élaborer et d'adopter des modèles de codes de construction de plus en plus stricts, à partir de 2020, avec l'objectif d'adopter un modèle de code de construction à « énergie zéro » d'ici 2030. Dans le cadre de ces efforts, depuis 2014, 23 projets résidentiels à zéro énergie (ainsi qu'un projet commercial et institutionnel) ont été construits au Canada. Les programmes de certification ENERGY STAR® pour les nouveaux domiciles et R-2000 du Canada aident également les acheteurs potentiels à choisir les maisons les plus écoénergétiques du marché. Des programmes comme LEEP (Partenariats locaux en matière d'efficacité énergétique) sont conçus pour soutenir les groupes de constructeurs et les fabricants par le biais d'une collaboration entre entreprises lors de la réalisation de ces projets.

Un autre objectif de « Une construction intelligente » est de **prévoir** que les gouvernements **exigeront** l'étiquetage de la consommation énergétique des bâtiments d'ici 2019. Actuellement, les bâtiments du Canada, représentant plus d'un cinquième de l'espace commercial du Canada, suivent et partagent déjà leurs performances énergétiques à l'aide de « ENERGY STAR Portfolio Manager ». Cet outil gouvernemental fournit une comparaison équitable des performances énergétiques des bâtiments tout en s'adaptant aux

différences régionales. De même, le système de cote de rendement énergétique de sa maison « EnerGuide » fournit aux propriétaires des informations sur les performances énergétiques de leur habitation. La Canadian Home Builders' Association a également ajouté son propre programme d'étiquetage de domicile zéro énergie [7]. En associant la photovoltaïque solaire des maisons zéro énergie à l'éclairage et aux appareils électroniques grand public à courant continu, les systèmes de distribution de courant continu complets pourraient offrir une valeur ajoutée à ces initiatives, qui visent à obtenir des gains d'efficacité énergétique en réduisant les pertes de conversion.

Au niveau local, afin de répondre aux initiatives fédérales et aux tendances mondiales similaires, les villes et les provinces ont mis en place leurs propres objectifs en matière d'énergie propre. En 2017, la Colombie-Britannique a présenté son code par palier énergétique, qui établit un processus en quatre étapes pour faire la transition vers une construction de bâtiments zéro énergie [8]. L'Ontario s'est engagé à atteindre 20 GW d'énergie renouvelable d'ici 2020 [9], tandis que 10 municipalités canadiennes ont mis en place un objectif d'énergie renouvelable à 100 % ou ont commencé à prendre des mesures pour atteindre cet objectif [10].

1.2 Croissance de l'intégration des RÉD

En tenant compte de la tendance à l'efficacité énergétique, l'accent mis sur les sources d'énergie renouvelable est un autre moteur pour les systèmes d'alimentation CC. La baisse des coûts technologiques (en particulier pour la photovoltaïque solaire et, plus récemment, pour le stockage sur batterie), associée aux avancées technologiques en matière de gestion des systèmes de paiement mobiles, a permis la pénétration initiale du marché des RÉD [9]. La conception de bâtiments commerciaux/résidentiels est généralement limitée à une certaine capacité de photovoltaïque solaire, tandis que les infrastructures industrielles peuvent combiner des parcs éoliens/solaires de plus grande capacité.

1.2.1 Photovoltaïque solaire

En 2017, au Canada, la capacité de l'industrie de l'énergie photovoltaïque solaire était de 2 911 MW, la capacité de l'industrie de l'énergie éolienne était de 12 239 MW et la production d'énergie éolienne était de 30,5 TWh. Pour les deux secteurs, la majeure partie de la capacité et de la production se situe en Ontario [11]. En outre, l'objectif de la feuille de route 2020 de la Canadian Solar Industries Association (CanSIA) est de générer 1 % de l'électricité au Canada à l'aide de la photovoltaïque, avec 6 300 MW de capacité installée [12]. Les deux images de la figure 4 montrent la croissance nationale importante pour les deux industries ces dernières années.

Figure 3 : *Capacité installée d'énergie photovoltaïque*

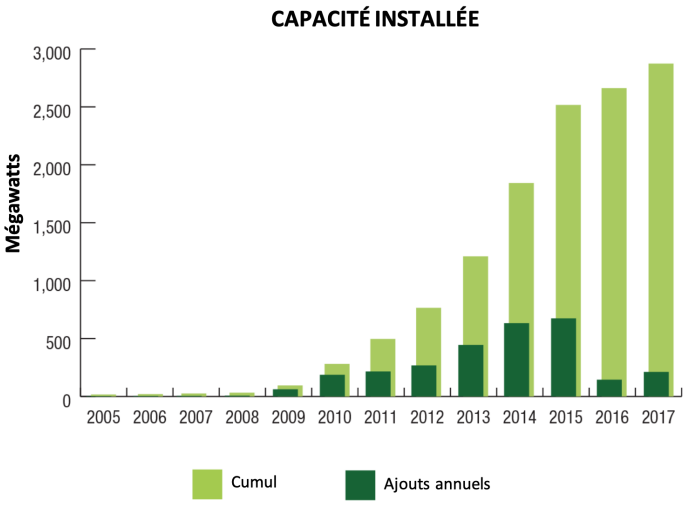
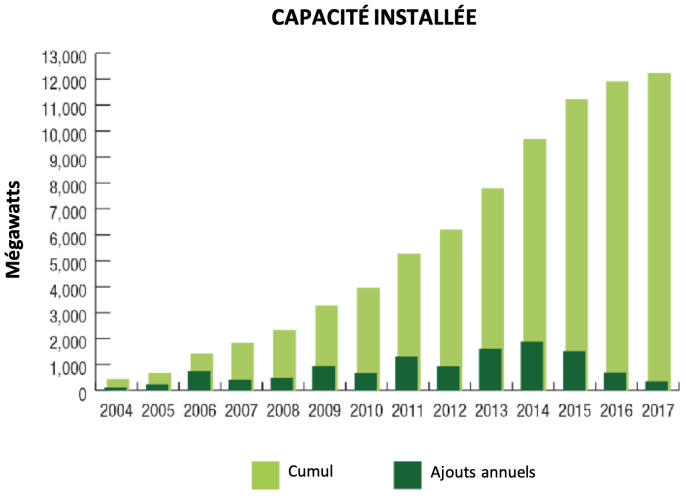


Figure 4 : *Capacité installée d'énergie éolienne entre*



(Source : Ressources naturelles Canada)

De plus, selon le rapport de 2018 du Conseil Génération Énergie du Canada, d'ici 2050, les bâtiments commerciaux et institutionnels ayant un toit de dimensions et d'orientation appropriées devront être équipés d'une installation solaire [1].

1.2.2 Stockage sur batterie

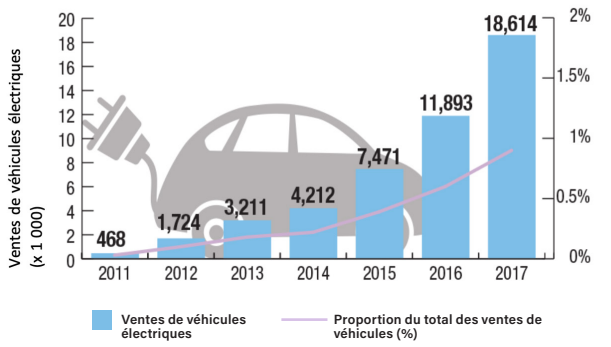
Les systèmes de stockage sur batterie destinés à être utilisés dans des bâtiments (derrière le compteur), comme le mur électrique de Tesla, ont rapidement diminué leur prix ces dernières années. Cela est principalement dû à l'expansion du marché des véhicules électriques et à la production correspondante de batteries plus grandes, moins chères et plus denses en énergie [14]. Les inconvénients de la photovoltaïque (l'intermittence et le déséquilibre quotidien entre la demande et la production) peuvent être surmontés grâce au stockage sur batterie, ce qui rend cette symbiose plus rentable. Une telle solution est particulièrement pertinente lorsque le prix de l'électricité du réseau est élevé et lorsqu'il est possible d'obtenir une faible rémunération ou aucune rémunération pour la production d'énergie solaire. De plus, étant donné que les batteries fonctionnent par nature en courant continu, lorsque des miniréseaux CC sont utilisés, l'alimentation générée en courant continu peut être stockée, mais également tirée directement, évitant ainsi les conversions en courant alternatif inutiles qui se traduisent par une perte d'énergie.

À plus grande échelle, les services d'électricité déploient de plus en plus de systèmes de stockage d'énergie, et plus particulièrement des batteries, afin de réduire les problèmes de fiabilité locale, de déplacer les charges, d'obtenir une plus grande flexibilité opérationnelle et d'améliorer leur capacité à gérer les parts croissantes d'énergie renouvelable variable (ÉRV) [9]. Au Canada, BC Hydro et RNCan ont tous deux mis en œuvre des projets de stockage sur batterie afin de réduire la surcharge du réseau et d'améliorer la fiabilité de l'approvisionnement aux clients en cas de coupure de courant prolongée [15, 16]. Le Canada a également pour objectif de devenir un centre mondial de développement et de déploiement de technologies de stockage d'énergie d'ici 2030 [13].

1.2.3 Véhicules électriques

À la fin 2017, environ 400 000 points de charge publics étaient actifs dans le monde entier, ce qui représente une augmentation de 100 % entre la fin 2015 et la fin 2017 [9]. Au Canada, au premier trimestre de 2018, les ventes de véhicules électriques ont représenté 1,5 % des ventes totales de véhicules. Près de 19 000 véhicules ont été vendus en 2017, soit une hausse de 56 % par rapport à 2016. Les ventes de véhicules électriques sont les plus élevées au Québec, en Ontario et en Colombie-Britannique. La figure 5 représente cette énorme croissance nationale récente [17].

Figure 4 : *Croissance des ventes de véhicules électriques au Canada entre 2011 et 2017 (Source : Ressources naturelles Canada)*



La forte tendance des ventes de véhicules électriques, associée à l'augmentation de l'infrastructure de stations de charge publiques et privées, présente un autre moteur pour des miniréseaux CC. Des synergies entre les véhicules électriques et le réseau (en tant qu'ÉRV) ou les bâtiments (en tant que sources d'alimentation secondaires potentielles supplémentaires) sont en cours de développement par l'intermédiaire de technologies V2G (véhicule à réseau) et V2H (véhicule à domicile) afin d'améliorer la réponse à la demande [9, 18]. Plus précisément, dans le cas d'un bâtiment, l'avantage de rester en courant continu pour la charge/décharge d'un véhicule électrique est le même que celui décrit ci-dessus pour le stockage sur batterie.

Les initiatives locales incluent les démonstrations d'infrastructure de véhicule électrique de RNCan, un projet de 46,1 M$ financé par le programme d'innovation énergétique (PIE) dans le but d'évaluer les obstacles potentiels au déploiement de l'infrastructure de station de charge de véhicule électrique de nouvelle génération [19]. En outre, les programmes d'incitation actuels du Québec et de la Colombie-Britannique offrent des remises pour l'achat d'un véhicule électrique ou l'installation d'une station de charge de véhicule électrique domestique [20].

1.3 Augmentation des charges CC

La prolifération des RÉD n'est pas à elle seule un argument solide pour la distribution de courant continu dans les bâtiments si l'environnement de l'utilisateur final ne nécessite pas d'alimentation en CC. Selon une étude récente, 70 % ou plus de la charge électrique résidentielle aux États-Unis est déjà en CC ou peut facilement être convertie pour fonctionner en CC. La charge restante d'environ 30 % liée aux moteurs peut être modifiée pour fonctionner en courant continu, bien que cela ne soit pas toujours possible. L'étude supposait une maison avec un véhicule électrique, des appareils à faible consommation d'énergie et des équipements de chauffage, ventilation et climatisation utilisant des moteurs CC [14].

En effet, aujourd'hui, l'électronique ne cesse de croître à mesure que de nouvelles applications mobiles et sans fil continuent d'évoluer. La plupart de ces appareils, comme les tablettes, les téléphones cellulaires, les consoles de jeux vidéo, certains ordinateurs de bureau et moniteurs d'ordinateur, et les téléviseurs de plus petite taille consomment déjà de l'énergie CC par le biais d'adaptateurs externes. USB-C est la dernière norme utilisée pour alimenter de nombreux appareils électroniques de petite taille et fournit des indications sur les connecteurs, la tension et la consommation totale. Le développement de ces normes est susceptible d'encourager l'augmentation de produits qui les utilisent.

La croissance exponentielle du marché des DEL ces dernières années en raison de la baisse des prix, de l'amélioration de l'efficacité et de la flexibilité des produits est un autre moteur. Au fur et à mesure que l'industrie de l'éclairage passe aux DEL, l'alimentation CC gagnera en attrait, car les DEL consomment intrinsèquement du courant continu. De nombreux fabricants commencent à proposer des DEL avec des pilotes CC (au lieu de CA), ce qui ouvre également la porte à des applications d'alimentation électrique par câble Ethernet (PoE).

Les appareils CC ont desservi des marchés de niche depuis des décennies, notamment les télécommunications, les habitations non raccordées au réseau, les véhicules récréatifs (VR), les applications maritimes et le transport ferroviaire. Bien qu'ils ne soient pas toujours facilement transférables à des bâtiments commerciaux et résidentiels, de nombreux dispositifs à entraînement par moteur intègrent depuis quelques années des moteurs CC avec variateurs de fréquence. Les variateurs de fréquence offrent une meilleure efficacité, car la puissance peut être réduite lorsque la charge est plus faible [14].

Dans un contexte national, au Canada en 2015, la consommation d'électricité représentait 39,4 % et 42,1 % de la consommation d'énergie secondaire totale dans les secteurs résidentiel et commercial, respectivement [21]. L'atteinte d'une meilleure efficacité énergétique en termes de consommation est un effort à part entière qui se reflète dans les programmes d'appareils ou de chauffage, ventilation et climatisation à faible consommation d'énergie tels que ENERGY STAR et les objectifs à long terme correspondants définis par la stratégie de « construction intelligente » du Canada. Selon un rapport de 2017 de Berkeley, les produits CC sont globalement plus efficaces que leurs homologues CA [22]. Grâce à l'efficacité accrue d'un réseau de distribution CC, des millions de dollars peuvent être économisés en consommation d'électricité.

1.4 Numérisation de l'énergie et automatisation des bâtiments

Un autre moteur pour les bâtiments alimentés par courant continu concerne les bâtiments « intelligents » avec des niveaux croissants d'automatisation et de commande, comme décrit dans le rapport de l'industrie d'Électro-Fédération Canada de 2017 [23]. Dans le secteur résidentiel, la commodité et la réduction des factures d'énergie poussent vers des solutions qui commandent l'éclairage, la sécurité, les systèmes audio et les systèmes de chauffage par l'intermédiaire d'un point d'accès centralisé sur le téléphone cellulaire ou la tablette du propriétaire. De même, dans les bâtiments commerciaux, de plus en plus de capteurs et de commandes sont ajoutés pour fournir des données en temps réel sur l'utilisation de l'espace afin de gérer

l'éclairage et d'autres paramètres dans des zones particulières en fonction des besoins d'occupation changeants. Le secteur industriel est en avance dans ce domaine, car de nombreuses usines déploient déjà de nombreux capteurs et actionneurs pour fournir des contrôles de processus efficaces et assurer l'efficacité de fonctionnement de leurs machines. De tels réseaux de capteurs, alimentés par une infrastructure en CC basse tension, permettent une meilleure efficacité énergétique, une plus grande flexibilité opérationnelle et des budgets de projet rentables. Les prix moyens des capteurs ont continué de baisser au cours des 15 dernières années, tandis que la technologie des capteurs continue de s'étendre à de nouvelles applications. Cette tendance devrait se poursuivre.

Les systèmes en CC basse tension sont déjà disponibles sur le marché, notamment un réseau de plafond suspendu 24 V CC qui alimente des luminaires, des capteurs et des dispositifs de commande par le biais de simples attaches « prêtes à l'emploi ». D'autres produits sont équipés de systèmes de charge publics sur des segments de rails à sécurité tactile qui peuvent alimenter jusqu'à 24 appareils avec des connecteurs USB coulissants. L'alimentation électrique par câble Ethernet est un protocole CC basse tension qui combine la distribution du courant électrique à la communication de données, technique qui est devenue commune aujourd'hui. Avec une puissance maximale de plus de 90 watts en 2017, et une croissance attendue, la gamme d'applications avec PoE continue de croître. L'éclairage alimenté par câble Ethernet est une tendance notable, notamment avec la technologie de DEL CC inhérente. Les nouvelles améliorations apportées à la technologie de DEL permettent également l'intégration directe de capteurs dans les luminaires [23].

Une autre technologie qui peut compléter la distribution de l'alimentation CC et peut-être même la révolutionner est « l'électricité numérique ». Les données et le courant sont transmis en centaines de paquets haute tension par seconde pendant que chaque paquet est vérifié par l'émetteur. Cela peut être effectué sur de grandes distances au moyen d'un câblage standard à faible consommation. Les impulsions sont interrompues en 3 millisecondes en cas de court-circuit, de contact par une personne ou d'autre irrégularité. Cette alimentation très efficace, qui promet également de faire face à des problèmes de sécurité importants, ainsi qu'à la possibilité de gérer numériquement un grand nombre de dispositifs électroniques modernes, peut constituer une nouvelle tendance. Au moins deux entreprises proposent actuellement des solutions d'électricité numérique.

2 Études de cas de miniréseaux CC

Avec tous les avantages potentiels des miniréseaux CC, la technologie en est encore à ses débuts. Cette recherche a documenté 43 études de cas de miniréseaux CC pour commencer à identifier les tendances dans ce domaine et, plus précisément, identifier les lacunes et les obstacles à la mise en œuvre de miniréseaux CC. La matrice complète de l'étude de cas est présentée à l'annexe A. Elle n'est pas destinée à constituer une liste exhaustive de tous les projets de bâtiments alimentés en courant continu, mais fournit un échantillonnage. Les 43 projets documentés sont composés de 18 projets commerciaux, 11 projets industriels et 6 projets institutionnels. Le reste est composé de projets résidentiels, de laboratoires de recherche, d'installations médicales et d'une installation militaire. La recherche a porté sur les projets en Amérique du Nord, tout en tenant compte de certains travaux internationaux, notamment en Chine, au Japon, en Allemagne, en Afrique et au Koweït.

Les premiers projets ont été installés en tant que démonstrations en 2010. Il s'agit principalement de projets d'éclairage CC à petite échelle (fluorescent ou DEL) avec réseau de plafond CC. Les projets les plus récents incluent un composant photovoltaïque solaire compris entre 30 kW et 500 kW, un stockage sur batterie compris entre 13 kWh et 350 kWh, une certaine production éolienne et parfois des stations de charge pour véhicule électrique. Les projets incluent l'éclairage à DEL alimenté par câble Ethernet et la plupart de ces projets incluent quelques systèmes de commande d'éclairage avancés qui complètent les conceptions de « bâtiment intelligent ». Les projets de miniréseau CC plus avancés sont dotés de liaisons CC pair à pair « derrière le compteur » entre un groupe de maisons résidentielles. Pour tous les projets, les charges typiques étaient un éclairage à DEL, des ordinateurs portables et des écrans d'ordinateur, avec quelques appareils domestiques en CC comme une cafetière ou un



<< Faire la preuve de faisabilité des systèmes alimentés par courant continu est toujours en cours. Plusieurs instituts de recherche se concentrent sur une comparaison équitable entre les solutions de conception de distribution CA et CC et de faciliter l'analyse des coûts et des bénéfices. >>

refroidisseur d'eau. Environ 20 % des projets comportaient des charges plus lourdes, comme des ventilateurs de plafond, des climatiseurs, des réfrigérateurs ou des stations de charge de chariots élévateurs. Les principales tensions CC observées étaient constantes sur l'ensemble des projets nord-américains à 380 V pour les bus de distribution CC principaux et 24 V pour la basse tension. Ces tensions varient d'un continent à l'autre.

Dans l'ensemble, la communication avec les participants du projet incluait 23 conversations en téléconférence et 3 correspondances par courriel. Les informations ont été recueillies auprès de six fabricants, cinq concepteurs/consultants en électricité, trois membres du personnel de recherche, trois experts de l'industrie et quatre autres membres de l'équipe de développement. Le questionnaire envoyé à chaque personne interrogée à l'avance est présenté à l'annexe B.

Les motivations sous-jacentes à la réalisation du projet d'énergie CC, telles qu'elles figurent dans cette liste de projets, peuvent être classées comme suit :

1. **Commercialisation de produit :** entreprises en démarrage et grandes entreprises capables de vendre des produits et composants fabriqués que le marché est prêt à absorber.
2. **Initiatives d'énergies renouvelables du gouvernement et volonté d'être durable :** quelques personnes interrogées ont mentionné les objectifs nationaux ou locaux en matière d'énergie verte comme référence qu'elles espèrent atteindre ou contribuer à atteindre. L'objectif de maisons à énergie zéro pour 2020 de la Californie [24] et sa référence de 100 % de DEL de 2019 [25] sont deux exemples. Les organisations et programmes de financement tels que le Clean Energy Research Center (CERC) de la coalition États-Unis-Chine, Technologies du développement durable Canada (TDDC), le Fonds de développement du réseau intelligent de l'Ontario et l'Electric Program Investment Charge (EPIC) de la Californie ont joué un rôle important dans le développement des projets. L'objectif d'économie d'énergie de la Chine attire également les fabricants sur un tel marché. Avec ces initiatives en toile de fond, la plupart des projets étaient de nature démonstrative et incluaient souvent des systèmes surveillés. Les « centres » de technologie verte, comme le NextEnergy Center de Detroit et l'Alliance Center de Denver, visent à encourager les espaces de travail collaboratifs pour les organisations de développement durable et à s'efforcer de créer des environnements où les entreprises peuvent construire, certifier et vendre des produits CC et répondre à la demande du marché.
3. **Recherche :** faire la preuve de faisabilité des systèmes alimentés par courant continu est toujours en cours, et de nombreux instituts de recherche comme le laboratoire Berkeley Lab, le NREL, le Lighting Center de l'UC Davis en plus de plusieurs

autres universités et services publics sont impliqués. Les efforts semblent se concentrer sur la démonstration de l'efficacité isolée des systèmes CC, séparés, par exemple, de l'efficacité obtenue en passant à l'éclairage à DEL. Le NREL développe actuellement un outil de conception et d'étude d'énergie pour les réseaux de distribution CC afin de modéliser avec précision les charges CA et CC, de fournir une comparaison équitable entre les solutions de conception de distribution CA et CC et de faciliter l'analyse des coûts et des bénéfices [26].

3 Révision des codes et des normes

Afin de s'adapter parfaitement aux éléments de sécurité et de produits des miniréseaux CC, certains codes et normes canadiens devront être mis à jour, et de nouvelles normes devront peut-être être élaborées. La révision des normes nécessite un examen approfondi de leur portée et de leurs exigences afin de déterminer les modifications requises. Les normes devront ensuite être classées de la manière suivante en fonction de leur capacité à intégrer les miniréseaux CC :

1. Normes exigeant un degré élevé de changement avec une hiérarchisation plus poussée des niveaux élevé/moyen/bas;
2. Normes exigeant un degré de changement moyen avec une hiérarchisation plus poussée des niveaux élevé/moyen/faible;
3. Normes relatives aux fils, câbles et conduites omnibus : étant donné que les fils et câbles ne sont pas à base de courant continu ou alternatif en particulier, de petits changements peuvent être nécessaires en ce qui concerne l'isolation et la chute de tension aux tensions inférieures;
4. Normes CC existantes : ces normes sont déjà dotées d'un composant CC. Elles nécessitent donc une révision et peuvent exiger des ajustements pour les miniréseaux CC complets.
5. Normes ne nécessitant qu'un minimum de changement ou aucun changement : éléments généralement neutres en CA/CC; et
6. Équipement médical.

Dans chaque catégorie, les normes peuvent être largement divisées en *normes de sécurité* qui nécessitent un ajustement pour s'adapter à l'alimentation CC et/ou aux tensions CC avec des intensités de courant fonctionnelles, et des *normes de produits de consommation* qui nécessiteraient un ajustement pour être facilement utilisées dans un réseau CC. Les applications médicales sont actuellement considérées comme des normes de priorité inférieure, tout comme celles des environnements dangereux et explosifs, car ces industries sont susceptibles d'être plus lentes à adopter des connexions à un réseau CC.

En outre, l'annexe C présente une liste des normes internationales pertinentes qui peuvent être utilisées à des fins de référence dans l'élaboration des normes canadiennes. La liste comprend la liste d'EMerge Alliance intitulée *Reference List for DC Codes and Standards* (comme mentionné dans le rapport de 2017 de Berkeley Lab [1]). Ces normes ont déjà été mises à jour pour l'alimentation CC et proviennent du NEC, de la CEI, de l'ETSI, de l'Europe et de la Chine.

Le travail du Canada s'appuiera sur les travaux effectués dans d'autres juridictions, en particulier aux États-Unis, car les normes canadiennes tendent à s'aligner sur les normes américaines pour les applications de produits de consommation.

3.1 Modifications des normes et du *Code canadien de l'électricité* de 2018

La mise à jour des codes et des normes a déjà commencé. Certains des changements de code récents et des groupes de travail pour l'élaboration de normes dans diverses organisations continueront à informer le développement de miniréseaux CC.

La dernière version de la norme CSA C22.1, *Code canadien de l'électricité, Première partie, norme de sécurité relative aux installations électriques* (« Code CE »), publiée en 2018, comprend une nouvelle sous-section 16-300, qui traite du câblage PoE, qui combine l'alimentation CC et les communications Ethernet dans un même ensemble de conducteurs. Ces modifications de règles permettent de résoudre les problèmes associés aux révisions récentes des normes IEEE qui spécifient des interfaces de PoE plus puissantes. Dans les systèmes PoE, les câbles sont regroupés pour des



<< Afin de s'adapter parfaitement aux éléments de sécurité et de produits des miniréseaux CC, certains codes et normes canadiens devront être mis à jour, et de nouvelles normes devront peut-être être élaborées. >>

longueurs étendues et potentiellement en grandes quantités. En raison des pertes d'alimentation dans le câblage, une utilisation plus intensive de l'alimentation peut entraîner un problème de chauffage des câbles, ce qui nécessite de nouvelles restrictions dans les méthodes d'installation. Ces nouvelles exigences relatives à la technologie PoE sont disponibles dans le Code CE 2018, les règles 16-300 à 16-350 et le tableau 60.

Durant la mise en œuvre de miniréseaux CC, les études de cas ont noté que certains codes et normes n'ont pas encore été créés, ce qui aiderait les autorités du Code à accepter ces installations.

3.2 Mises à jour récentes du Code – États-Unis et international

Le Canada n'est pas une île refermée sur elle-même; il possède des liens commerciaux et de fabrication avec de nombreux autres pays, et partage plus particulièrement de nombreuses réglementations avec les États-Unis. Par conséquent, il est difficile pour le Canada de « faire chemin seul » lorsqu'il s'agit de codes et de normes. Le Canada doit connaître les normes en vigueur dans d'autres juridictions afin d'intégrer des exigences similaires permettant aux fabricants de créer efficacement des produits.

3.2.1 Modifications au *National Electrical Code* (États-Unis) de 2017

Dans la version 2017 du *National Electrical Code* (NEC) américain, publié par la National Fire Protection Agency (NFPA) en tant que NFPA 70 et qui régit les installations électriques aux États-Unis, plusieurs articles ont été ajoutés pour traiter les éléments des miniréseaux CC. L'article 691 a présenté des exigences pour les installations de production d'énergie électrique photovoltaïque à grande échelle, définies comme celles dont les systèmes produisent au moins 5 MW d'électricité. L'article 706 a présenté des exigences d'étiquetage de sécurité et d'arrêt pour les systèmes de stockage d'énergie, conjointement avec la norme UL 9540, tandis que les systèmes de génération autonomes comme l'éolienne et la photovoltaïque (non interconnectés au réseau) sont couverts par l'article 710.

L'article 712 concerne les miniréseaux à courant continu et est le plus pertinent pour la discussion sur les miniréseaux. Il régit désormais les réseaux de distribution d'énergie indépendants qui incluent le couplage direct de l'alimentation des sources CC aux charges CC.

Outre les nouveaux articles, plusieurs modifications ont été apportées au NEC 2017, comme les mises à jour de l'article 690 sur les systèmes photovoltaïques solaires. Les mises à jour sur la PoE de l'article 840 sont directement pertinentes pour les miniréseaux. Les modifications apportées au transfert d'électricité sans fil, y compris l'équipement de transfert d'électricité sans fil pour la charge de véhicule électrique, ont été incluses à l'article 625.

3.2.2 Fondation de recherche de la NFPA

Cette fondation a tenu des sommets avec des groupes de travail en 2017 et 2018 dans le but de clarifier les étapes spécifiques et exploitables nécessaires à la prise

en compte complète du câblage PoE dans les infrastructures modernes, tout en maintenant les niveaux de sécurité établis. Les groupes de travail ont organisé des discussions concernant : la déclaration de vision, la coordination réglementaire, la recherche et les données, ainsi que la formation, l'éducation et la sensibilisation.

3.2.3 Élaboration des normes de l'IEEE

L'IEEE est l'une des plus grandes organisations qui s'occupent des installations électriques de tous types en Amérique du Nord. Il est fortement investi dans la détermination des exigences et le maintien des normes en matière de distribution d'énergie CC. Il guide souvent les exigences de fabrication de produits et les codes électriques.

Le comité de coordination des normes de l'IEEE SCC21 sur les piles à combustible, les produits photovoltaïques, la génération d'énergie dispersée et le stockage d'énergie a élaboré la norme IEEE 2030, *IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads.* Il existe des groupes de travail participant à l'élaboration d'une norme intitulée *Standard for DC Microgrids for Rural and Remote Electricity Access Applications,* un groupe travaillant à la spécification des dispositifs de commande de miniréseaux et un autre qui élabore la norme *IEEE Standard Technical Specifications of a DC Quick Charger for Use with Electric Vehicles.* D'autres comités et groupes de travail ont développé les normes suivantes :

- IEEE 1547-2018, *IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces*
- IEEE SA-802.3bt, *IEEE Draft Standard for Ethernet – Amendment 2: Power over Ethernet over 4 Pairs*
- IEEE SA-1627, *IEEE Draft Standard for Transient Overvoltage Protection of DC Electrification Systems by Application of DC Surge Arresters*
- IEEE SA-1653.6, I*EEE Draft Recommended Practice for Grounding of DC Equipment Enclosures in Traction Power Distribution Facilities*
- IEEE SA-946, *IEEE Draft Recommended Practice for the Design of DC Power Systems for Stationary Applications*

3.2.4 Élaboration des normes de la CEI

À l'échelle mondiale, l'élaboration des normes de sécurité et de fabrication des miniréseaux CC a été dirigée par la Commission électrotechnique internationale (CEI). Ces normes ont été adoptées dans de nombreux pays, y compris le Canada (le cas échéant), ou utilisées comme directives pour le développement des exigences locales. Il existe plusieurs comités de la CEI qui examinent les miniréseaux, notamment :

- SyC (comité système) CCBT – CCBT et courant continu basse tension pour l'accès à l'électricité
- SEG 6 (groupe d'évaluation des systèmes) – Réseaux de distribution/miniréseaux non conventionnels
- SEG 9 (groupe d'évaluation des systèmes) – Systèmes de maisons intelligentes/immeubles de bureaux
- CEI TS 629898-1:2017 Edition 1.0 (2017-05-18), *Microgrids – Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification*
- CEI TS 62257-9-3:2016 Edition 2.0 (2016-09-27), *Recommendations for renewable energy and hybrid systems for rural electrification – Part 9-3: Integrated systems – User interface*
- CEI 62909-1:2017, édition 1.0 (2017-05-19), *Convertisseurs de puissance connectés aux réseaux bidirectionnels – Partie 1 : Exigences générale*

3.2.5 Élaboration des normes « EMerge Alliance »

Dans le but de poursuivre le développement des miniréseaux CC, EMerge Alliance a été créée au milieu des années 2000. Il s'agit d'une association industrielle ouverte qui soutient l'adoption de la distribution d'énergie CC dans les bâtiments commerciaux. En raison de l'absence de normes existantes dans ce domaine, EMerge a créé quelques normes de son cru (issues du rapport de Berkeley Lab de 2017 [1]), publiées en 2016 :

- EMerge Occupied space V2.0, *DC power distribution requirements for commercial building interior*
- EMerge Residential V1.0, *DC power distribution requirements for residential buildings*
- EMerge Commercial Building V1.0, *DC power distribution requirements for commercial buildings and campuses*

- EMerge Data/Telecom V1.1, *DC power distribution requirements in data centers/telecom*

Ces normes peuvent être et ont été utilisées comme guides pour les associations de codes et de normes les plus reconnues.

3.2.6 Codes du bâtiment de Californie

Les réglementations établies par la California Energy Commission (CEC) constituent un autre ensemble pertinent de codes d'installation. Les réglementations de la CEC font partie du *California Building Standards Code* (« Titre 24 ») et sont probablement les réglementations les plus strictes en matière d'efficacité énergétique en Amérique du Nord, car elles sont conçues pour répondre à l'objectif zéro énergie (NZE) de 2020 de la Californie pour la construction résidentielle. Bien qu'il ne s'agisse pas spécifiquement de miniréseaux CC, la norme d'efficacité extrêmement stricte de la CEC encourage le développement de miniréseaux CC. Les codes concernés sont les suivants :

- Title 24 (partie 6) – *Building Energy Efficiency Standards for Residential and Non-residential Buildings*
- Title 20 (division 2, chapitre 4, article 4) – *Appliance Efficiency Regulations*

4 Avantages, obstacles et considérations supplémentaires concernant les miniréseaux CC

En résumant les conclusions de nos conversations pour l'étude et nos recherches sur Internet, les sections 4.1 à 4.4 présentent les avantages, les obstacles et les considérations relatifs aux projets de construction alimentés en courant continu.

4.1 Avantages

Le principal avantage des bâtiments alimentés en courant continu est le potentiel d'économies d'énergie, car de nombreuses conversions CA/CC à perte élevée peuvent être évitées. Les économies d'énergie se traduisent par une réduction des émissions de GES et des coûts d'exploitation. Les économies sont additionnées lorsque de l'énergie est produite par le courant continu, comme la photovoltaïque solaire ou l'énergie éolienne, ou lorsque le stockage sur batterie, des véhicules électriques, des charges CC et des composants de conversion d'alimentation CC/CC efficaces sont utilisés. Un rapport de 2017 de Berkeley Lab résume les économies d'énergie de huit études : une plage de 2 à 14 % a été rapportée dans quatre projets de modélisation, tandis qu'une plage de 2 à 5,5 % a été rapportée dans quatre études expérimentales [1].

Du point de vue des exploitants de bâtiments, la séparation entre le réseau CA et le miniréseau du bâtiment facilite un transfert transparent vers « l'îlotage » (opération autonome) sans avoir besoin de commutateurs de transferts statiques coûteux et offre une résilience en cas de panne de réseau. Dans le cas des miniréseaux de petite taille, la régulation et la gestion de la puissance sont plus simples en CC, car il n'y a pas de problèmes avec les harmoniques, le facteur de puissance et la régulation de fréquence.

Même lorsque les miniréseaux CC ne sont pas considérés comme viables, les applications PoE voient leur popularité s'accroître. Les avantages spécifiques des applications PoE incluent la simplification de l'intégration de l'alimentation, des communications, des commandes et de la surveillance dans les bâtiments intelligents à multiples capteurs qui utilisent des normes comme USB, PoE, Thunderbolt et HDBaseT. Les études de cas de ce rapport de recherche et d'autres études ont montré que le nombre total d'heures de main-d'œuvre nécessaires à l'installation du système PoE était inférieur à la moitié du temps nécessaire à une installation conventionnelle [3]. Cela coïncide avec des revendications similaires de certains des plus grands fabricants de PoE (par exemple, Philips et Eaton) concernant les économies significatives de matériel et d'installation de systèmes PoE par rapport aux câblages d'éclairage classiques [1].

Les économies de main-d'œuvre réalisées grâce à la technologie PoE sont considérables, mais d'autres économies peuvent être réalisées grâce à des contrôles de bus CC avancés qui permettent de répondre aux fluctuations des prix du marché en utilisant l'« écrêtement des pointes » et d'autres techniques. Lorsque des applications de postcâblage domotique sont envisagées, une valeur économique des miniréseaux CC fonctionnant sur 380 V CC est que l'infrastructure de câblage CA existante conçue pour 600/347 V dans un bâtiment peut être réutilisée pour utiliser l'alimentation

CC. Aucun recâblage n'est nécessaire pour une application de rénovation de bâtiment, car les codes électriques permettent généralement de réutiliser le câblage si les fils sont étiquetés en conséquence [28].

Du point de vue de la sécurité, les dangers d'électrocution du corps humain par l'alimentation CC sont considérés comme inférieurs à ceux du CA, car l'impédance totale du corps humain diminue à mesure que la fréquence augmente [27]. De plus, un réseau de distribution en courant continu élimine le besoin de nombreux convertisseurs de blocs d'alimentation CA/CC conventionnels présents dans l'électronique domestique d'aujourd'hui, qui sont souvent des « charges d'alimentation fantôme » qui consomment de l'énergie même lorsqu'ils ne sont pas utilisés et qui peuvent chauffer et provoquer des incendies. En outre, avec la réduction des matériaux, de la taille et du poids des composants électroniques, les consommateurs auraient besoin de moins de convertisseurs de puissance, tandis que les fabricants et les distributeurs bénéficieraient d'une réduction des matériaux et des frais d'expédition [14].

4.2 Obstacles

4.2.1 Disponibilité des produits

De nombreuses personnes interrogées ont mentionné que l'absence de produits CC était un obstacle certain, en particulier :

- Sélection de produits limitée ou inexistante et, au final, une sélection beaucoup plus petite que la sélection de produits CA équivalents;
- Produits non disponibles comme annoncé. À titre d'exemple, un concepteur a mentionné que 20 modèles PoE avaient été annoncés par les fournisseurs, mais seulement 2 modèles étaient disponibles;
- Viabilité de l'USB-C et recherche de périphériques compatibles USB-C;
- Quantité limitée d'appareils CC et d'équipements CVC à l'échelle commerciale; et
- Quantité limitée d'équipement de conversion CC/CC haute puissance pour les systèmes d'alimentation plus puissants.

Le manque de disponibilité de produits se traduit par des coûts initiaux plus élevés et, comme dans le cas d'un projet, l'équipement représente jusqu'à 40 % du coût du projet, ce qui est financièrement non viable. De plus, le petit marché des produits CC est en concurrence avec la forte demande sur le marché des produits CA et signifie que les fabricants ont tendance à « penser en CA ». Par conséquent, sur le marché actuel, les produits et les composants sont principalement développés en pensant uniquement au CA.

L'un des chercheurs a noté que, comme pour d'autres nouvelles technologies, une situation de poule et d'œuf est observée : il y a un décalage entre l'équipement CC et la disponibilité des produits, et, en même temps, l'approvisionnement coûte cher, car il nécessite actuellement une ingénierie personnalisée.

4.2.2 Développement de projets et conception personnalisée

L'un des experts du secteur a expliqué que l'un des principaux obstacles au développement est que les soumissionnaires de projets ajoutent un prix aux travaux dans les bâtiments CC en raison de l'incertitude réglementaire face à ce qui suit :

- les autorités d'inspection locales (autorité compétente) et le manque de certifications des produits;
- l'incertitude des investisseurs (probabilité que les développeurs ou les partenaires se retirent en raison d'une augmentation des coûts, de la complexité ou des retards); et
- manque de produits disponibles (prix moins compétitifs).

Dans un projet, le financement était la principale cause d'abandon de la conception en CC. Dans un autre, la conception inhabituelle faisait en sorte que l'entrepreneur-électricien exigeait un contrat différent de celui proposé à l'origine. Bien que le fournisseur ait pris part au projet à cette étape, lorsqu'il devait obtenir une assurance-cautionnement, l'incertitude faisait en sorte qu'il se retirait. L'un des fabricants a mentionné que pour les petites entreprises en démarrage souvent impliquées, les clients éprouvaient des problèmes de garantie ou de service tant au niveau du système que des composants, en raison de la question de la longévité

du fournisseur lui-même. Les ingénieurs concepteurs et les conseillers partagent également ces préoccupations face aux projets nécessitant une qualité de service et un entretien de l'équipement garantis à l'avenir.

L'utilisation de nouveaux produits prend naturellement plus de temps et d'efforts. Les prototypes peuvent faire face à de nombreux problèmes de développement. Même lorsqu'il existe des produits comme l'éclairage PoE, dans un projet, les concepteurs ont pris beaucoup plus de temps à déterminer les accessoires adaptés en termes de coût et de fonctionnement. Le temps de conception pour ce projet a également considérablement augmenté en raison de la nécessité d'informations supplémentaires, car chaque étagère de câbles avait besoin d'une annexe et chaque connexion d'éclairage nécessitait un circuit PoE [3].

Enfin, l'absence de charges CC entraîne parfois la nécessité d'ancrages de réseau et de convertisseurs continu-alternatif, ce qui est une limitation évidente de l'efficacité des systèmes CC.

4.3 Considérations relatives à la conception

Du point de vue de la conception, les études de cas examinées pour ce projet ont noté plusieurs éléments dont les ingénieurs concepteurs ont besoin de connaître pour créer des miniréseaux CC. Pour commencer, bien qu'il n'y ait pas de norme de tension spécifique dans le code, 380 V est devenue la norme de tension « de facto » grâce à son utilisation dans les centres de données, bien que 800 V et 1 000 V CC soient toujours utilisés pour la charge rapide haute puissance de véhicule électrique. Si les concepteurs commencent à normaliser la tension de distribution à 380 V CC, cela contribuera à réduire les tensions propriétaires que les fabricants ont essayé d'intégrer. De plus, comme dans le cas des premières adoptions de systèmes de gestion de bâtiments avant les protocoles BacNet, l'alimentation CC voit actuellement une plus grande variété de logiciels propriétaires pour la gestion des systèmes. La normalisation sera un élément clé.

Lors du développement des exigences initiales pour le réseau lors des premières étapes de conception, les calculs sont essentiels, notamment le calcul et l'anticipation du courant d'appel, de la formation d'arcs CC et de l'activation du système, ainsi que le calcul et l'atténuation des défauts d'arc et des défauts de mise à la terre. Il s'agit de problèmes importants. L'industrie solaire est en train de développer des exigences en matière d'éclats d'arc électrique, mais il n'existe actuellement aucun produit économique pour y remédier. En matière de défaut de mise à la terre, la définition du point de masse lui-même constitue un défi : s'agit-il du point milieu ou du défaut de mise à la terre lui-même? Et comment cela influence-t-il la mise à la terre et la liaison globale du bâtiment?

L'équilibrage de la tension CC lors de l'utilisation d'un bus bipolaire nécessite une analyse et une prise en compte attentives. De plus, lors du passage au-delà d'un bus bipolaire vers plusieurs sources CC, comment les concepteurs interconnectent-ils les sources en toute sécurité? Il convient également de noter qu'à l'heure actuelle, la plupart des équipements spécifiés par les concepteurs proviennent du marché de l'énergie solaire, mais qu'ils nécessitent souvent une adaptation et des modifications coûteuses.

Propres aux systèmes PoE, les normes et les codes pour le câblage de classe 2 sont bien définis pour les faibles puissances. Toutefois, la chute de tension peut poser un problème sur de plus longues distances, et la transmission d'électricité en vertu de la norme est limitée aux câbles n° 15 (calibre américain) et plus petits. Ainsi, la localisation des prises devient un facteur à prendre en compte. La suppression des arcs est également bien définie sous les limites de 300 W. Le problème devient évident lorsque le périphérique final a une puissance supérieure à 300 W.

4.4 Considérations supplémentaires

4.4.1 Applications adaptées

En général, le courant continu est attrayant dans les bâtiments commerciaux et industriels qui possèdent une génération de courant continu (photovoltaïque, éolien, véhicule électrique au réseau, etc.), un stockage d'énergie CC avec une grande quantité de machines à commande électronique, d'ordinateurs et d'éclairage. En outre, les conversions CC/CC dans le système doivent rester efficaces. Les scénarios de charge quotidienne rendent les économies d'énergie sur les projets résidentiels moins intéressantes en raison du « dilemme » de la courbe de charge résiduelle, c'est-à-dire le déséquilibre temporel inhérent entre la période de pointe (généralement en soirée ou en début de matinée) et la génération d'énergie solaire (en journée). Quelques

personnes interrogées ont noté que, dans l'ensemble, il semble y avoir plus de nouvelles applications de construction et de nouvelles analyses de rentabilité que de rénovations. Toutefois, la conversion de bâtiments CA en CC est possible; en général, 277 V CA (tension efficace) sont rectifiés à 380 V CC (valeur de crête équivalente). La tension CC provient du courant CA rectifié, mais chaque circuit doit être rectifié séparément. Les bâtiments hybrides sont possibles, mais l'économie sera compromise. Une telle application est la plus simple pour les rénovations majeures. La conversion de l'alimentation CC en alimentation CA pour alimenter en retour le réseau présente peu d'avantages dans de nombreuses juridictions, en fonction des exigences de connexion au réseau.

En ce qui concerne les systèmes basse tension, le PoE est une application adaptée aux bâtiments intelligents où une commande intelligente de l'éclairage, des appareils, des équipements CVC et des fonctions de sécurité est recherchée. En outre, une personne interrogée a suggéré que les réseaux de plafond sous tension seraient bénéfiques dans un environnement d'éclairage dynamique comme les chaînes de magasins. Lorsque l'affichage et l'éclairage sont fréquemment modifiés, les fonctionnalités prêtes à l'emploi simples sont utiles.

4.4.2 Produits

Les personnes interrogées ont souvent exprimé le désir d'avoir des équipements CC. La nécessité d'imprimantes, d'écrans d'ordinateur, de téléviseurs à écran plat et de petits appareils compatibles CC a été particulièrement notée. La simplification des systèmes dans un scénario prêt à l'emploi serait également bénéfique. L'un des chercheurs a souligné qu'actuellement, de nombreux fabricants disposent de leurs propres tensions et ont un logiciel propriétaire protégeant la participation de tiers. Ainsi, même la correspondance de tension n'est pas suffisante à certains moments. Une autre complexité est la tendance des fabricants à ne pas partager de nouvelles informations sur les produits, souvent considérées comme « propriétaires » lors des premières étapes du développement des produits. Un obstacle évident consiste aussi à parvenir à faire passer les fabricants des bancs d'essai à la production, ce qui signifie qu'ils doivent se baser sur des hypothèses. Toutefois, cela leur offre la possibilité de devenir des chefs de file dans ce domaine. Les organisations comme CLASP soutiennent le développement de produits CC en invitant « la coopération, le dialogue ouvert et un engagement partagé entre ceux ayant un rôle à jouer dans la création, le stockage, la distribution et la consommation d'électricité CC » [14].

Un développement de produit supplémentaire est également requis lors de l'utilisation d'équipements à des fins d'urgence. Pour l'éclairage PoE, aucun test n'a été effectué quant à la durée nécessaire aux commutateurs numériques pour redémarrer une fois que le générateur a démarré. Ainsi, lorsque l'éclairage PoE était utilisé comme éclairage d'urgence dans l'une des études de cas de ce rapport, des unités UPS supplémentaires ont été ajoutées afin que les commutateurs de données d'éclairage d'urgence ne perdent jamais de courant [3]. Avec le développement et les mises à l'essai de produits supplémentaires, les UPS supplémentaires pourraient ne pas être nécessaires.

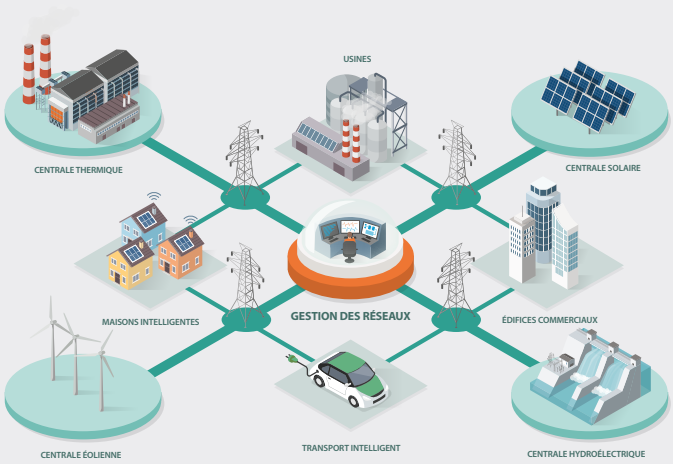
4.4.3 Interaction avec les services publics

L'absence de mesure des revenus des services publics a souvent été mentionnée par les participants à l'étude comme restriction au développement de modèles commerciaux pour les systèmes de distribution CC.

Les juridictions locales et nationales qui régissent cette approbation diffèrent aux États-Unis et au Canada. Par conséquent, Mesures Canada devra faire partie de la discussion à ce sujet. Malgré les différences juridictionnelles mentionnées ci-dessus, un consortium industriel, notamment EMerge Alliance, la NSA et Duke Energy, élabore une norme pour la mesure des revenus des services publics pour l'alimentation CC. Une autre collaboration entre les fournisseurs et les services publics travaille sur une certification site par site d'un compteur CC de classe service public pour électricité CC. Ce compteur d'électricité est actuellement testé par l'UL, mais n'est pas encore certifié.

4.4.4 Opinion publique

Comme pour toute technologie émergente, l'opinion publique peut jouer un rôle clé dans le taux d'adoption ou même dans son rejet éventuel. L'un des fournisseurs a mentionné que l'opinion publique pouvait rapidement tourner au vinaigre en raison de la promotion par certains fabricants de la performance de leurs produits ou de la détérioration de la qualité de fabrication. Ces informations peuvent se manifester sous la forme de fiascos présentés rapidement dans les nouvelles et



<< Les propriétaires, les concepteurs, les installateurs et les inspecteurs doivent se former pour gagner en confiance lors de la budgétisation et de la planification. >>

avoir un impact négatif. Certaines stratégies visant à promouvoir les appareils d'utilisation finale en courant continu peuvent inclure la création d'une « marque CC » promue par le biais de campagnes de vente au détail et de programmes d'incitation à l'utilisation de services publics, le développement de programmes de récompense et d'étiquetage comme ENERGY STAR et la mise en place d'incitations financières et fiscales [14].

4.4.5 Connaissances des acteurs du secteur

Quelques personnes interrogées ont mentionné la nécessité d'une formation et d'un engagement en matière de formation au niveau des organisations, des professionnels, des employés/entrepreneurs et inspecteurs.

L'une des conclusions d'un projet d'éclairage PoE était que lors de l'évaluation des coûts, les bâtis, les commutateurs de données et la programmation du système doivent être inclus. Cependant, ces composantes font généralement partie du budget informatique. Par conséquent, la différence de coût finale entre l'installation du système d'éclairage PoE et celle d'un système CA standard n'a pas pu être déterminée dans son intégralité [3]. Il s'agit d'un exemple de conflits possibles entre les responsabilités opérationnelles et de maintenance des projets CC comparativement aux systèmes traditionnels. Les propriétaires, les concepteurs, les installateurs et les inspecteurs doivent se former pour gagner en confiance lors de la budgétisation et de la planification. Enfin, des programmes de formation officiels doivent être créés.

Les sociétés d'assurance peuvent avoir besoin d'être impliquées pour connaître les systèmes CC et leur sécurité. Avec l'augmentation de la confiance, la baisse des primes peut contribuer à cette tendance.

Même les acteurs du secteur comme l'autorité compétente doivent bénéficier d'une formation et d'une éducation améliorées, car les miniréseaux d'alimentation CC sont nouveaux dans l'industrie. La formation des responsables de l'autorité compétente touchés peut souvent faire la différence entre une approbation directe du projet et des complications comme des retards ou des modifications apportées à la conception. De plus, lorsque les responsables de l'autorité compétente ne sont pas entièrement formés, plusieurs parties prenantes et plusieurs inspections peuvent être demandées, ce qui retarde l'approbation finale du projet.

5 Analyse des écarts des normes et des codes

Les sections 5.1 à 5.6 présentent une analyse complète des normes et des codes d'installation des produits pertinents afin de permettre la distribution d'une alimentation CC dans des bâtiments. Bien que de nombreux éléments nécessitent un examen plus poussé, il est recommandé de considérer les éléments suivants comme les priorités les plus élevées :

- Établir des niveaux et des plages de tension CC standard;

- Développer des critères d'approbation pour les équipements de mesure de l'alimentation CC pour la facturation des revenus;
- Établir des configurations de prises de courant standard pour les circuits CC;
- Mettre à jour les normes des produits pour permettre la commercialisation d'éclairages, d'équipements, d'entraînements par moteur et d'équipements de charge de véhicules électriques en courant continu;
- Clarifier les règles d'interconnexion des RÉD;
- Déterminer les dispositions relatives à l'installation de sécurité des personnes pour les miniréseaux CC (alimentation d'urgence, éclairage, alarme incendie et protection contre les incendies);
- Élaborer des normes de produit et des règles d'installation pour les dispositifs de protection CC.

5.1 Niveaux de tension standard

La normalisation des niveaux de tension CC pour la distribution de l'électricité du bâtiment est une priorité élevée qui influe sur les normes relatives aux produits et à l'installation. Cet obstacle nécessite une attention particulière, car les plages de tension sélectionnées exigent un équilibre entre plusieurs facteurs clés :

1. **Sécurité :** les risques d'électrocution augmentent avec des tensions plus élevées.
2. **Coût :** a taille et le coût des conducteurs diminuent, tandis que les exigences d'isolation, la longueur maximale du circuit et la capacité augmentent avec des tensions plus élevées.
3. **Efficacité énergétique :** les pertes de puissance diminuent avec des tensions plus élevées en raison des courants et des chutes de tension plus faibles.
4. **Compatibilité :** dans la mesure du possible, les niveaux de tension devraient être sélectionnés en fonction de la disponibilité des composants existants et pour permettre les applications de mise à niveau du système CA à CC.
5. **Limites imposées :** les plages de tension autorisées pour chaque niveau de tension nominale doivent être suffisamment étroites pour permettre la compatibilité de charge, mais suffisamment larges pour permettre une chute de tension pratique et la fonctionnalité des RÉD.

La spécification de la plage de tension acceptable pour chaque niveau nominal standard est aussi importante que la sélection du niveau lui-même. Bien que certains produits puissent accepter une large gamme d'entrées de tension, d'autres peuvent être plus sensibles aux fluctuations de tension. Une variation de la tension CC est également nécessaire pour permettre les flux d'alimentation entre les RÉD; la chute de tension de la batterie pendant la décharge et les circuits directement couplés aux sources photovoltaïques varient en fonction de l'isolation et du point d'alimentation de fonctionnement, tandis que les contrôleurs de miniréseau peuvent réguler activement la tension du bus CC comme signal de commande.

Actuellement, les plages de tension CA préférées sont spécifiées dans la norme CSA CAN3-C235-83 (R2010), *Tensions recommandées pour les réseaux à courant alternatif de 0 à 50 000 V.* Il est recommandé qu'une norme similaire soit produite pour le courant continu, ou que la norme existante soit adaptée pour inclure le courant continu.

Les niveaux de tension CC sélectionnés influenceront la disponibilité des produits, les exigences d'installation, le potentiel de mise à niveau et le coût global des installations CC. La collaboration avec les organismes de normalisation internationaux et les fabricants, en particulier ceux des États-Unis, est essentielle pour garantir l'harmonisation des niveaux de tension. L'harmonisation est nécessaire pour garantir la compatibilité des produits, réduire les obstacles commerciaux et optimiser la taille potentielle du marché afin d'encourager les fabricants à développer des produits CC.

Plusieurs niveaux de tension CC nominale ont été adoptés pour les études de cas de ce rapport, la plus courante étant :

- 375 à 380 V unipolaire/750 V bipolaire;
- 48 V (y compris PoE, avec diverses mises en œuvre avec plages de tension de 37 V à 57 V);
- 24 V; et
- 12 V.

Les niveaux de tension inférieurs, basés sur les multiples d'une tension de batterie nominale standard de 12 V, disposent déjà d'une large gamme de

produits disponibles, notamment ceux compatibles avec les spécifications PoE et ceux des installations hors réseau sur batterie. Ces installations incluent notamment les véhicules récréatifs, les bateaux et les systèmes critiques avec des batteries de secours intégrées, comme les équipements de sécurité et de télécommunication, l'éclairage des unités d'urgence et les systèmes d'alarme incendie. Ces systèmes critiques sont généralement conçus pour utiliser une batterie de secours CC basse tension avec une entrée d'alimentation CA pour un fonctionnement normal, qui peut facilement être adaptée à une entrée CC pour un fonctionnement normal.

L'inconvénient principal de l'utilisation de basses tensions est la distance et les limites de puissance, ainsi que les pertes d'énergie causées par des chutes de tension plus importantes. L'augmentation correspondante de la taille des câbles augmente aussi de manière importante le coût des installations à basse tension.

Pour ces raisons, la plupart des projets pilotes étaient basés sur un niveau nominal de 380 V CC pour la distribution générale et les charges de puissance supérieure, qui est également bien adapté aux valeurs nominales existantes des équipements de conversion de puissance. Cependant, il existe actuellement peu de normes écrites pour répondre aux applications à cette tension.

La sécurité constitue un autre facteur clé pour déterminer les niveaux de tension appropriés pour les circuits de dérivation à usage général. Avant de finaliser les règles d'installation pour les circuits de dérivation à un niveau de 380 V CC ou plus, le risque d'électrocution de ces circuits devrait être évalué par rapport au niveau du circuit de dérivation standard de 120 V CA, avec des mesures de sécurité supplémentaires, comme la protection contre les défauts de mise à la terre, qui sont requises pour atténuer tout risque supplémentaire. Cela a également des implications sur les normes de produit associées et les règles d'installation.

Il semble également y avoir un « trou » entre 48 V et 380 V CC, qui mérite d'être pris en considération. Étant donné que la plupart des produits électriques et circuits de dérivation de l'Amérique du Nord ont été conçus autour d'une limite de charge continue de 120 V/12 A/1440 W, la spécification d'un niveau de tension standard dans cette plage peut permettre la réutilisation de milliards de dollars de câblage de circuits de dérivation existants pour les systèmes CC, ce qui augmente de façon considérable le potentiel de remplacement. Les tensions plus faibles sont limitées à des distances plus courtes et à une puissance plus faible lorsqu'elles sont utilisées sur le câblage existant, ce qui nécessite alors un recâblage important. Dans certains cas, lorsque les circuits existants ont une isolation nominale de 600 V ou plus, ils pourraient être réutilisés à 380 V CC. Toutefois, comme le câblage NMD (« Loomex ») de 300 V est très courant dans la construction combustible (dans les petits bâtiments résidentiels et commerciaux), un niveau de tension inférieur à 300 V devrait être évalué.

Des niveaux de tension CC plus élevés devraient également être pris en compte pour permettre la construction de miniréseaux à plus grande échelle, car il existe des limitations de distance pratiques à des niveaux de tension inférieurs, et les installations photovoltaïques jusqu'à 1 500 V deviennent plus courantes. Toutefois, étant donné que la plupart des projets initiaux ont été axés sur des installations plus petites et que les services d'électricité publics vont probablement piloter le développement des normes pour les applications interbâtiments, cette priorité devrait être considérée comme inférieure à celle des éléments ci-dessus.

5.2 Principales exigences des produits

5.2.1 Mesure des revenus dans les circuits CC

L'une des priorités dans le développement d'un marché pour les systèmes d'alimentation CC est de disposer d'un moyen approuvé pour mesurer la consommation d'électricité CC pour la facturation des revenus. Des moyens limités de générer des revenus ou de récupérer les coûts à partir de RÉD couplées à un système en courant continu limiteraient les analyses de rentabilité pour ces types d'installations (et les investissements dans ceux-ci).

Au Canada, la mesure électrique pour la facturation des revenus est réglementée au niveau fédéral par Mesures Canada, et les approbations ne sont actuellement disponibles que pour les systèmes de mesure CA. Ces normes devront être révisées pour permettre les approbations CC.

Aux États-Unis, les écarts locaux sont plus facilement obtenus pour les approbations de mesure des revenus, et plusieurs juridictions et services publics y travaillent.

Il est donc recommandé d'examiner leurs approches lors de l'élaboration des réglementations canadiennes équivalentes.

Bien que de nombreux aspects de la mesure CC puissent être conformes aux exigences CA existantes, il existe une différence fondamentale entre les deux : La mesure CC utilise des shunts pour mesurer le courant (c'est-à-dire, des éléments fixes à faible résistance qui produisent une chute de tension proportionnelle au courant), car les transformateurs de courant et de tension (TC et TT) utilisés pour la mesure CA reposent sur l'induction magnétique, qui n'est possible qu'avec des formes d'onde variables (généralement sinusoïdales).

5.2.2 Configurations de prises de courant standard

Bon nombre des personnes interrogées ont mentionné l'absence de configurations normalisées de prises de courant pour le courant continu comme une importante barrière. Jusqu'à ce que ces connecteurs soient disponibles, chaque dispositif CC portable nécessite la connexion d'un type de fiche propriétaire correspondant à la configuration de prise propriétaire disponible. Ce manque de fonctionnalité « prête à l'emploi » constitue un obstacle à l'adoption par le marché de masse, et un nombre réduit de fabricants d'appareils électriques grand public seront alors tentés de créer des versions CC de leurs équipements.

Pour les dispositifs à faible consommation, les normes d'interface telles que USB-A et USB-C sont relativement répandues comme les sorties d'alimentation CC basse tension dans la plage de 5 V à 20 V, ainsi que les ports PoE RJ-45 dans la plage de 37 V à 57 V. Toutefois, les limites de puissance de ces interfaces sont inférieures à 100 W, ce qui est trop faible pour de nombreux produits résidentiels ou commerciaux utilisés quotidiennement comme les fours à micro-ondes, les grille-pain, les réfrigérateurs, les projecteurs, les appareils de chauffage portables, les outils électriques, etc. Un autre point à prendre en compte est que les interfaces USB et PoE utilisent des commandes électroniques intégrées pour négocier le transfert de puissance. Cela peut être souhaitable pour les petits appareils « intelligents », mais pour de nombreuses applications, une simple interface de couplage d'alimentation suffit, et elle est moins coûteuse, plus fiable et moins susceptible de devenir obsolète à mesure que de nouvelles normes de transfert d'énergie sont développées.

La conception de prises CC fonctionnant à des niveaux de courant plus élevés est également plus difficile que celle de leurs homologues CA. Ceci est principalement en raison de la difficulté d'extinction d'arcs lorsqu'une fiche est retirée pendant que le courant CC circule. Le courant CA effectue 120 passages à zéro par seconde, et les arcs peuvent être éteints plus facilement à ces points. Les normes de produit pour les prises CC devront prendre cela en compte.

5.2.3 Dispositifs de protection CC

Pour des raisons de sécurité incendie et des personnes, les circuits CC nécessitent des mesures de prévention semblables à celles des circuits CA. Les mesures de prévention pour les circuits CA incluent principalement :

1. Surcharge (protection contre la surchauffe causée par des courants à charge élevée);
2. Surintensité (protection contre la formation d'arcs et la chaleur causées par des courants de court-circuit élevé);
3. Défaut de mise à la terre (détection rapide de courts-circuits impliquant des composants mis à la terre); et
4. Défaut d'arc (détection rapide de courts-circuits à haute impédance ou intermittents, et protection contre les incendies causés par la formation d'arcs en série).

Ces mesures de prévention sont généralement fournies par des disjoncteurs ou des fusibles, avec des prises et disjoncteurs différentiels de fuite à la terre (DDFT), ainsi que des disjoncteurs combinés anti-arc (DCAA) utilisés conformément aux codes d'installation. D'autres schémas de protection contre les défauts de mise à la terre sont également disponibles, bien que généralement réservés aux installations de plus grande taille en raison de leur complexité technique.

Bien que des disjoncteurs et des fusibles conçus pour une application CC générale soient actuellement disponibles, bon nombre de ces dispositifs ne sont adaptés qu'à des tensions plus faibles ou sont approuvés uniquement pour une utilisation avec des systèmes photovoltaïques. Il peut donc être difficile ou coûteux de se procurer les dispositifs de protection appropriés pour un système CC.



<< En raison de leur rôle de liaison clé dans un réseau de distribution d'électricité CC, la certification et la normalisation de cet équipement sont essentielles pour permettre à ces systèmes d'être plus répandus et plus fiables. >>

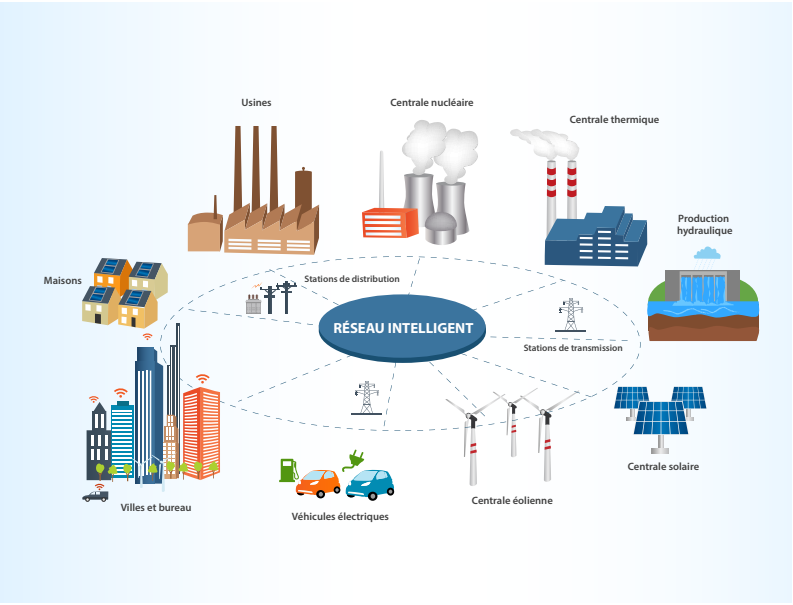
Les règles de câblage actuelles (Code CE, section 26) exigent des disjoncteurs combinés anti-arc et des disjoncteurs différentiels de fuite à la terre sur des circuits spécifiques (DCAA sur les circuits de dérivation résidentiels, DDFT près des éviers et des douches, à l'extérieur, etc.). Ces types de dispositifs de protection ne sont actuellement pas disponibles pour les circuits CC. Par conséquent, des règles équivalentes pour la protection des circuits CC dans ces zones devront être développées, ou ces produits et les normes associées devront être créés.

5.2.4 Dispositifs de conversion d'alimentation CC

L'un des composants clés des systèmes d'alimentation CC est les dispositifs de conversion de puissance, qui augmentent ou diminuent les tensions CC comme les transformateurs CA et régulent les niveaux de tension/courant nécessaires pour la charge de batterie, l'optimisation de la puissance de sortie photovoltaïque et la commande du miniréseau. Les redresseurs et les onduleurs, qui convertissent le courant alternatif en courant continu et inversement, sont également essentiels pour les sources et charges couplées en courant alternatif. Tous ces produits sont généralement des dispositifs à semi-conducteurs à commande électronique.

En raison de leur rôle de liaison clé dans un réseau de distribution d'électricité CC, la certification et la normalisation de cet équipement sont essentielles pour permettre à ces systèmes d'être plus répandus et plus fiables. Bien que les mesures de prévention pour les transformateurs soient clairement intégrées aux règles d'installation et aux exigences du produit, il peut y avoir des écarts dans les exigences équivalentes pour les dispositifs de conversion d'alimentation à semi-conducteurs, car leur utilisation pour alimenter le câblage du bâtiment a été limitée jusqu'à présent, et la fiabilité, la compatibilité ou les problèmes de sécurité latents peuvent prendre beaucoup de temps à se manifester lorsqu'ils n'ont été appliqués que dans un nombre limité de conditions réelles. Il suffit d'examiner l'évolution rapide des règles d'installation de la photovoltaïque dans le Code CE et la NEC pour obtenir un exemple. Ces dispositifs de conversion de puissance nécessiteront également une harmonisation avec les plages de tension normalisées pour les raisons indiquées dans les paragraphes ci-dessus.

Étant donné qu'aucune des personnes interrogées dans le cadre de cette étude de cas n'a spécifiquement mentionné cela comme une barrière pour leurs projets pilotes, il semble que les normes actuelles de produit (comme la CSA C22.2, nº 107.1-16, Équipement de conversion de puissance) aient suffisamment de dispositions pour la mise en œuvre de base de ces systèmes. Toutefois, il est recommandé de passer attentivement en revue ces normes afin de confirmer leur compatibilité avec des applications à grande échelle de miniréseaux CC.



<< Les normes d'installation actuelles constituent également un obstacle, et des mises à jour sont nécessaires, ainsi qu'une formation spéciale pour les électriciens et les responsables de l'autorité compétente sur les exigences propres au CC. >>

5.2.5 Éclairage

Bien que la plupart des nouveaux luminaires actuels utilisent la technologie à DEL, qui fonctionne par nature sur une alimentation CC basse tension, la plupart d'entre eux ont été conçus et certifiés pour l'entrée d'alimentation CA dans la plage de 120 V à 347 V, étant donné qu'il s'agit des tensions utilisées dans la plupart des réseaux de distribution d'électricité des bâtiments.

Dans les applications résidentielles, la plupart des luminaires sont conçus pour des ampoules de 120 V avec des culots à vis E26 « Edison » (ainsi que des culots à vis E17 et E12 plus petits), et la plupart des ampoules à DEL de classe résidentielle sont construites avec ces types de connecteurs et des pilotes à ampoule intégrée adaptés à cette tension. Pour les futures applications résidentielles, un équivalent CC de ces culots à vis doit être créé si des lampes facilement remplaçables sont nécessaires; sinon, les installations d'éclairage CC résidentielles utiliseraient les lampes, les pilotes et la gamme de connecteurs câblés communs aux grands bâtiments.

Pour les applications dans les grands bâtiments commerciaux et institutionnels où les culots à vis sont moins courants, les exigences sont quelque peu différentes, car les pilotes sont intégrés aux luminaires et certifiés en tant qu'assemblage. Bien que l'échange d'un pilote d'entrée CA à un pilote d'entrée CC soit une mesure relativement peu importante, il est difficile de le mettre en pratique en raison du marché limité des luminaires CC et des difficultés concernant la recertification des luminaires. Par conséquent, il existe peu de luminaires CC sur le marché, et la mise en œuvre d'un projet de construction typique avec un large éventail de types de luminaires nécessite une recertification complète des produits ou des approbations sur le terrain.

Un processus simplifié de recertification des accessoires CA pour l'entrée CC (par exemple, avec un simple échange de pilote) faciliterait la transition vers le CC au cours de la période initiale avant qu'un grand marché n'existe pour encourager les fabricants de luminaires à proposer des options CC. Idéalement, les luminaires devraient pouvoir être doublement certifiés, autant pour une entrée CA que CC, ce qui éliminerait les exigences en matière de recertification et de nouveaux tests.

5.2.6 Équipement mécanique

Le moteur à induction CA est souvent considéré comme la bête de somme de l'industrie, en raison de sa simplicité, de sa polyvalence et de son utilisation très répandue. La plupart des équipements mécaniques pour les applications de bâtiments qui utilisent des moteurs électriques, y compris les ventilateurs, les pompes, les compresseurs et les ascenseurs, utilisent des moteurs à induction CA. Il semble peu probable que cela change même si les systèmes d'alimentation CC sont adoptés.

La raison principale est que les méthodes de commande des moteurs à induction CA ont considérablement changé au cours des dernières décennies, ce qui les rend plus adaptées aux applications CC. Les systèmes de commande de moteur traditionnels pour

les grands bâtiments utilisaient généralement des postes de commande de moteurs électriques (PCME), qui constituaient un moyen pratique de centraliser la distribution de l'alimentation et le câblage de commande, les démarreurs et les dispositifs de protection pour les moteurs. Les démarreurs de moteur ont été utilisés pour modifier la vitesse et la direction du moteur et gérer les courants d'appel à l'aide d'une gamme de techniques, allant des contacteurs d'activation/désactivation simples à la modification de la tension en reconnectant les enroulements du moteur. Toutefois, ces méthodes ne permettent qu'une gestion grossière de la vitesse et n'éliminent pas complètement les courants d'appel. L'une des principales conséquences est la réduction de l'efficacité énergétique, car les moteurs peuvent rarement fonctionner à leur vitesse optimale dans des conditions de système variables.

Avec l'avènement de l'électronique de puissance abordable, il est devenu économique d'utiliser des variateurs de fréquence pour gérer tous les moteurs à induction, sauf les plus petits. Ces variateurs permettent un démarrage en douceur (sans appel) et une gestion de la vitesse dynamique et précise, ce qui se traduit par de grandes économies d'énergie qui rentabilisent rapidement le coût du variateur. Par conséquent, la plupart des moteurs de plus de 5 ch sont désormais gérés par des variateurs de fréquence individuels. Les variateurs de fréquence gèrent la vitesse du moteur en redressant l'alimentation CA de 60 Hz en CC, puis en modulant l'alimentation CC en une forme d'onde CA à tension variable et à fréquence variable hautement modifiable. Comme les variateurs de fréquence incluent par nature l'alimentation CC, ils peuvent facilement être adaptés à l'entrée CC, ce qui améliorerait également leur efficacité globale en raison de l'élimination du redresseur d'entrée.

Ces dernières années, la tendance à la commande électronique de petits moteurs monophasés a été plus modeste, pour des raisons similaires. Cependant, au lieu des moteurs à induction CA avec variateurs de fréquence, ces petits moteurs sont de type « CC sans balais », également appelés « moteurs à commutation électronique ». Dans la plupart des cas, ces moteurs sont conçus comme des moteurs CA synchrones à aimant permanent, mais sont alimentés par des formes d'onde CA modulées provenant d'un bus d'alimentation CC, avec les composants électroniques d'entraînement intégrés au moteur lui-même. En dépit de l'indication « CC », ils sont généralement construits pour une entrée de 120 V CA en raison de sa disponibilité étendue. Cependant, comme les variateurs de fréquence, ils peuvent facilement être modifiés pour l'entrée CC, avec des gains d'efficacité correspondants.

Peu de fabricants participent actuellement au développement de variateurs de fréquence et de moteurs à commutation électronique à entrée CC pour les équipements mécaniques utilisés dans les bâtiments. La mise à disposition de normes de produit pour la certification d'équipements avec entrée CC permettrait d'alimenter en courant continu une classe importante de charges de bâtiment (par exemple, systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, pompes, équipements de réfrigération et ascenseurs). Sans les systèmes mécaniques à alimentation CC disponibles, la plupart des bâtiments dépendraient toujours de systèmes CA-CC hybrides, ce qui réduirait l'efficacité globale du système et limiterait la mise en œuvre complète du miniréseau CC.

Un autre aspect des moteurs à commutation électronique, qui s'intègre parfaitement dans le paradigme du miniréseau CC, est qu'ils peuvent être utilisés pour le freinage à récupération d'énergie, en renvoyant de l'électricité dans le réseau. Il s'agit déjà d'une caractéristique des moteurs d'ascenseur, bien que les implications des charges agissant occasionnellement comme sources d'alimentation ne soient pas clairement prises en compte dans les codes d'installation actuels. Le développement d'exigences d'installation claires pour les moteurs régénératifs est donc également recommandé autant pour les systèmes CA que CC.

5.2.7 Équipement de charge d'un véhicule électrique

L'équipement de charge d'un véhicule électrique, ou chargeurs VE, est actuellement conçu pour l'entrée CA uniquement. Cependant, comme les DEL, les véhicules électriques sont intrinsèquement des dispositifs CC et, à l'instar des variateurs de fréquence, l'équipement de charge d'un véhicule électrique CC peut facilement être adapté aux systèmes CA en retirant simplement le composant de redressement.

Étant donné que l'utilisation de véhicules électriques se développe rapidement, il est recommandé de revoir les normes de produit pour l'équipement de charge d'un véhicule électrique afin de permettre l'installation de chargeurs à entrée CC. Les constructeurs automobiles devraient être inclus dans ce processus, car la charge de niveau 2 à faible puissance (7 kW et moins) est généralement effectuée avec un équipement de charge CA et des redresseurs/contrôleurs de charge intégrés au véhicule, tandis que la charge CC est généralement de 15 kW et plus, avec des redresseurs externes et des contrôleurs de charge. La charge CC de niveau 2 à 7 kW et moins serait probablement le type le plus répandu dans les bâtiments CC en raison des contraintes d'infrastructure et de coût. Par conséquent, l'équipement de charge d'un véhicule électrique CC existant et les normes d'interface du véhicule doivent être examinés pour confirmer la compatibilité.

5.2.8 Entreposage

Les systèmes de stockage d'énergie électrique sont de plus en plus répandus dans tous les types de bâtiments. Bien qu'ils soient généralement connectés à des réseaux de distribution de courant alternatif, les types les plus couramment intégrés dans les bâtiments, comme les batteries fermées (lithium-ion, plomb-acide, etc.), les batteries à flux (vanadium, sel fondu, etc.) et les piles à combustible, sont des dispositifs à courant continu.

Qu'ils soient connectés à un réseau de distribution CA ou CC, les règles relatives à la combustibilité et à la ventilation doivent être mises à jour en ce qui concerne la ventilation et la qualité de l'air. Les différents types de batterie ont des exigences différentes et il existe un risque d'incendie pour les batteries qui n'ont pas été testées et certifiées correctement pour des applications avec distribution CC. Les normes relatives aux produits et à l'installation pour le stockage de l'énergie devraient être soigneusement examinées, y compris les sections pertinentes des codes de construction et d'incendie.

5.2.9 Câblage

Le câblage est relativement indépendant de la plateforme lorsqu'il est utilisé dans des réseaux de distribution d'électricité CA ou CC. La tension nominale de chaque type de câblage correspond à la tension efficace CA et à la tension CC nominale. Cependant, le câblage présente encore des difficultés en matière de certification et de codes.

Les plages de tension CC standard étant en cours de détermination, il convient de confirmer que le câblage certifié est disponible pour les applications proposées et que les tests et les plages de tension spécifiés sont adéquats. Dans le cas de circuits CC de classe 2, les limitations de grosseur de fil dans les normes du produit sont un problème dans certaines installations. Pour les systèmes CC de haute puissance (supérieure à 300 W), les questions d'isolation doivent être traitées, ainsi que les exigences relatives aux essais.

Actuellement, pour le câblage certifié pour la PoE, une charge soutenue a entraîné une certaine surchauffe du câblage et des connecteurs, et les exigences d'installation du Code CE ont récemment été mises à jour en réponse. D'autres modifications du Code CE et des normes d'isolation améliorées peuvent être nécessaires, à mesure que des options PoE plus puissantes sont offertes.

5.2.10 Autres produits

En fin de compte, pour disposer d'un système de sûreté électrique entièrement compatible CC, toutes les catégories d'équipement électrique devront être évaluées pour s'assurer de leur compatibilité avec les circuits CC. Cela inclut les normes relatives aux produits de consommation, aux équipements CVC, aux équipements de cuisine, aux équipements médicaux et aux équipements industriels. Toutefois, ces mesures étant moins susceptibles d'être mises en œuvre au début de l'adoption du CC (sauf mention contraire ci-dessus), elles ne devraient pas être considérées comme une priorité élevée.

Une approche raisonnable pour permettre une adoption généralisée du CC sans avoir à passer en revue toutes les normes de produits consiste à fournir une norme de certification générique de CC avec des critères applicables à toutes les catégories de produits. La plupart des normes de certification des produits présentent actuellement des exigences minimales en matière de CC, ce qui se traduit par des tests sur le terrain coûteux et des évaluations requises pour la

recertification. Même lorsque l'approbation est obtenue par évaluation sur le terrain, les exigences de la norme CSA SPE-1000 (Code de modèle pour l'évaluation sur le terrain des équipements électriques), ne sont pas claires et spécifiques aux produits CC. CSA C22.2 nº 60950-1, Équipement de technologie de l'information – Sécurité – Partie 1 : Exigences générales, est une autre norme qui peut être utilisée pour l'évaluation, mais elle est adaptée à l'équipement de technologie de l'information et n'est pas très spécifique quant exigences générales pour l'équipement CC.

5.3 Principales exigences d'installation

Les produits représentent un facteur majeur qui limite l'adoption plus étendue des miniréseaux CC. Toutefois, les normes d'installation actuelles constituent également un obstacle, et des mises à jour sont nécessaires, ainsi qu'une formation spéciale pour les électriciens et les responsables de l'autorité compétente sur les exigences propres au CC. L'adoption ou la révision des exigences d'installation pertinentes permettra des installations plus sûres avec moins d'incertitudes liées aux retards et aux coûts d'inspection.

Les codes électriques, de bâtiment et d'incendie étant de longs documents hautement techniques, un examen complet n'a pas été possible dans le cadre de ce rapport. Cette section est limitée à la synthèse des différents types de problèmes d'installation ou d'obstacles liés aux réseaux de distribution d'électricité CC, qui peuvent ne pas être traités dans les codes actuels. Il est recommandé d'effectuer un examen complet de chaque section de code pertinente en tenant compte de ces problèmes afin de garantir la compatibilité et la sécurité du système CC.

5.3.1 Interconnexion des RÉD

Les sections 64 et 84 du Code CE incluent actuellement des règles étendues pour l'interconnexion des RÉD (sources de production et stockage de l'électricité) dans les bâtiments. Ces règles ont été mises à jour de manière significative dans les dernières éditions de la partie I du Code CE. Traditionnellement, les systèmes des bâtiments étaient alimentés par une seule source d'électricité CA, avec une alimentation de secours fournie par des sources locales, comme un générateur diesel ou un système d'alimentation sans coupure (UPS) sur batterie, qui sont généralement commutés de manière à ce qu'une seule source soit connectée à la fois. Dans les installations de plus grande taille, les générateurs et les systèmes UPS sont souvent mis en parallèle pour assurer la redondance, mais même dans ces cas, les sources sont « au-dessus » du système, et la plupart des composants peuvent être isolés en toute sécurité à l'aide d'un seul commutateur.

Les RÉD ont compliqué cette situation. Avec les systèmes photovoltaïques locaux, les batteries, le freinage d'ascenseur à récupération d'énergie, les connexions véhicule-réseau, les commutateurs de transfert à transition fermée et d'autres sources d'alimentation distribuées, les flux d'alimentation sont plus complexes et l'isolation des composants devient plus difficile. Il est essentiel de pouvoir mettre hors tension en toute sécurité des éléments du système pour l'entretien. D'autres exigences du système, comme le courant admissible et la valeur nominale du courant d'interruption, sont également plus difficiles à déterminer en cas de sources distribuées, et l'application émergente de la gestion active de la demande constitue une autre préoccupation majeure.

En gardant ces facteurs à l'esprit, il convient de passer en revue les règles d'interconnexion afin de résoudre les problèmes suivants :

1. **Îlotage :** lorsqu'un système comprend un miniréseau CC, le type d'interconnexion de réseau le plus courant, anti-îlotage, peut ne pas convenir, car la capacité du réseau CC à continuer de fonctionner pendant les pannes de réseau constitue un avantage majeur en termes de fiabilité. L'élaboration d'exigences claires pour les miniréseaux CC en îlotage permettra de réduire les coûts, les retards, ainsi que les restrictions associés aux services publics complexes et aux approbations de l'autorité compétente.
2. **Dimensionnement des conducteurs :** lorsque plusieurs sources sont connectées à un conducteur, le courant total dans ce conducteur peut dépasser la somme des valeurs nominales du disjoncteur source. Les règles de dimensionnement des conducteurs et les emplacements requis des dispositifs de protection où plusieurs sources sont liées devraient être clarifiés pour tous les scénarios de connexion à des RÉD.

3. **Interruption du courant :** avec plusieurs sources à différents emplacements dans un système, les calculs du courant en cas de défaut le plus défavorable deviennent complexes. Les exigences relatives à l'évaluation adéquate des dispositifs de protection devraient être clarifiées. Par exemple, un disjoncteur avec des sources des deux côtés devrait-il avoir une valeur selon le courant en cas de défaut simultané le plus défavorable du côté de la ligne ou du côté de la charge, ou devrait-il avoir une valeur selon la somme de tous les courants de défaut des deux côtés?

4. **Emplacements d'interconnexion :** Des ressources d'énergie distribuées sont, par définition, réparties. Leur emplacement de connexion devrait donc être limité dans la mesure du possible. Ceci est particulièrement important dans les grands bâtiments dotés de miniréseaux, où une ressource (par exemple, des panneaux solaires) peut être très éloignée d'une autre (par exemple, une connexion véhicule-réseau), et les câbler directement ensemble peut être coûteux. Le fait d'exiger que les RÉD soient connectés à un nombre limité de concentrateurs système (comme l'entrée de service ou les points de consolidation désignés) permettrait de minimiser les problèmes associés au courant admissible, au courant d'interruption et aux moyens d'isolation. Ces exigences pourraient être satisfaites avec une approche flexible qui définit différentes classes d'équipement et de circuits avec différents ensembles d'exigences, selon qu'elles sont « radiales » (c.-à-d., charges uniquement, avec isolation à partir d'un seul commutateur) par rapport aux types « réseau » (c.-à-d., plusieurs sources). Chaque classe de circuit pourrait avoir des exigences d'identification particulières comme un codage couleur sur ses disjoncteurs et ses fils « réseau » afin de réduire le risque d'erreurs d'identification. Au final, le choix sera un compromis entre une sécurité renforcée et une réduction des coûts/augmentation de la commodité. La restriction des connexions aux RÉD à un point unique dans un bâtiment est incompatible avec leur nature distribuée.

5. **Moyens d'isolation :** des règles claires pour les types et les emplacements des moyens d'isolation pour les circuits dotés de plusieurs sources d'alimentation sont essentielles à la normalisation des conceptions de miniréseaux. Il y a une ambiguïté et une incohérence dans les cas où des moyens d'isolation sont nécessaires par rapport aux sources d'alimentation. Il convient de préciser si les moyens d'isolation doivent être installés aux points où la tension est augmentée ou diminuée, où la conversion entre CA et CC se produit, et quels types de sources d'alimentation sont inclus/exclus de la considération (par exemple, quand les condensateurs sont-ils considérés comme des dispositifs de stockage d'énergie? Les variateurs photovoltaïques devraient-ils être traités différemment des onduleurs du système à batterie?). Il devrait également être clairement spécifié lorsqu'un moyen visible de confirmer la déconnexion est nécessaire, ainsi que les types de systèmes qui en ont besoin.

   Dans un exemple tiré des études de cas, l'autorité compétente avait besoin d'un système d'arrêt d'urgence avec des dispositifs d'arrêt dédiés pour déclencher les charges, les systèmes photovoltaïques et les batteries à trois emplacements distincts. L'absence de normes définies pour la sécurité de l'alimentation d'urgence peut donc entraîner des coûts prohibitifs et une incertitude dans l'autorisation.

6. **Commande de miniréseau et gestion de la demande :** un certain niveau de précision de commande est nécessaire pour que le miniréseau fonctionne correctement. Que ce soit par le biais de commandes de niveau de tension ou de communications numériques, les méthodes autorisées devraient être clairement spécifiées afin de garantir la compatibilité des composants et de permettre un démarrage à froid. Les règles de gestion de la demande sont importantes pour les circuits ayant plusieurs charges connectées qui dépassent le courant admissible du circuit, mais qui sont activement gérées pour empêcher la surcharge du circuit. Ceci est actuellement autorisé par la règle 8-106 du Code CE pour les véhicules électriques, mais l'extension de cette règle pour l'application générale devrait être prise en compte.

5.3.2 Systèmes de sécurité des personnes à connexion électrique

En raison de sa nature critique dans la conception des bâtiments, les règles d'alimentation d'urgence des sections 32 et 46 du Code CE, associées aux règles du code du bâtiment, et les normes de produit devraient être évaluées pour s'assurer qu'elles sont compatibles avec la distribution des bâtiments CC. Cela comprend :

1. Exigences relatives à l'éclairage de secours;
2. Éclairage de l'unité de secours;
3. Commutateurs de transfert automatique;
4. Pompes à incendie; et
5. Systèmes de protection contre les incendies.

Les règles d'alimentation d'urgence devraient clairement indiquer les exigences en matière de redondance du système CC et dans quelles conditions les ressources d'énergie distribuées dans une configuration de miniréseau seraient considérées comme des sources d'alimentation d'urgence suffisantes.

5.3.3 Circuits de classe 2

Les règles de circuit de classe 2 sont actuellement définies dans la section 16 du Code CE, avec de possibles ajustements nécessaires pour l'isolation et les connecteurs.

5.3.4 Exigences relatives à la mise à la terre

La section 10 du Code CE devra faire l'objet d'un examen minutieux en ce qui concerne les problèmes de mise à la terre propres au courant continu. La taille des conducteurs de mise à la terre, les exigences relatives à la mise à la terre d'un système unipolaire et bipolaire, le potentiel de corrosion causée par les courants CC galvaniques, la taille des conducteurs de liaison et les méthodes de mise à la terre de résistance devraient tous être examinés en ce qui concerne les problèmes de sécurité, de coût et de fiabilité.

Pour les systèmes CC haute tension, les exigences de tension « de pas et de contact » de la section 36 du Code CE devraient être adaptées aux risques d'électrocution CC afin de garantir la sécurité du personnel.

5.3.5 Exigences de protection des circuits

Pour les transformateurs de courant alternatif, les exigences de protection des circuits sont clairement spécifiées dans la section 26 du Code CE. Toutefois, des exigences équivalentes devraient être prescrites pour les appareils qui augmentent ou diminuent les tensions CC, ou qui convertissent l'alimentation CA à l'alimentation CC. L'utilisation de disjoncteurs ou de fusibles de chaque côté de ces dispositifs peut s'avérer inutile avec une protection thermique et une grosseur de fil appropriées, ou elle peut être nécessaire pour la sécurité. Une étude plus approfondie est nécessaire.

De même, les exigences en matière de protection contre les défauts de mise à la terre et de protection contre les défauts d'arc des circuits CC devraient être évaluées pour garantir un niveau de sécurité équivalent à celui de leurs homologues CA.

Cette évaluation peut également être une bonne occasion d'explorer d'autres moyens de protection des circuits, comme celui utilisé dans le concept de puissance pulsée « d'électricité numérique », qui vérifie si le circuit connaît des défauts plusieurs fois par seconde et fournit une isolation quasi instantanée au besoin, ce qui limite l'énergie totale de défaut dans les circuits au-dessus des limites de tension et de puissance de classe 2.

5.4 Applications de modernisation

Un domaine qui n'est pas spécifiquement traité dans les codes applicables est la certification des applications de modernisation CA à CC. Des règles claires peuvent-elles être fournies pour convertir efficacement et en toute sécurité l'infrastructure CA existante en miniréseau CC lorsque la disponibilité des produits commence à justifier ce type de mise à niveau?

5.5 Services publics et privés

En général, les exigences ci-dessus concernent les systèmes d'un seul bâtiment ou d'une seule propriété, car les services publics sont exemptés des parties I et II du Code CE. Si le réseau électrique choisit d'offrir des services d'alimentation CC à l'avenir, des exigences de service semblables aux exigences de service CA de la section 6 du Code CE devront être créées, ainsi que des exigences d'utilisation des équipements électriques



<< Les systèmes alimentés en courant continu promettent quelques avantages par rapport au courant alternatif, mais dans son état actuel, la technologie est encore à ses débuts. >>

conçus, construits, testés et certifiés conformément aux normes de sécurité de l'Association canadienne de normalisation (« CSA ») pour les produits électriques.

Un autre type de service devrait également être pris en compte pour permettre les liaisons CC à un réseau privé entre les propriétés pour un transfert d'alimentation bidirectionnel. Cela permettrait de construire de plus grands miniréseaux ou des miniréseaux à plusieurs niveaux.

5.6 Méthodologie d'élaboration de code

La quantité globale de codes, ainsi que leur applicabilité à la distribution CC et leur pertinence, peuvent entraîner une confusion lors des premières phases d'adaptation. L'une des leçons tirées des études de cas est d'aborder l'élaboration de code par la codification des « meilleures pratiques » du secteur plutôt que d'essayer d'incorporer toutes les « dettes techniques » (anciennes normes), car bon nombre des anciennes normes CA ne s'appliquent tout simplement pas au paradigme du miniréseau CC.

Conclusion

Les systèmes d'électricité modernes ont connu une croissance exponentielle au cours des 130 dernières années et dépendent aujourd'hui presque exclusivement de l'alimentation CA au niveau de la distribution. Toutefois, l'avènement de l'électronique à semi-conducteurs moderne et la prolifération des systèmes photovoltaïques et éoliens, conjointement avec les systèmes de stockage d'énergie et les véhicules électriques, donnent naissance à un paradigme différent : les miniréseaux au niveau du bâtiment où une alimentation CC est générée, distribuée, stockée et consommée. Les systèmes alimentés en courant continu promettent quelques avantages par rapport au courant alternatif, mais dans son état actuel, la technologie est encore à ses débuts. Un sondage dans l'industrie a révélé que le nombre croissant de projets de miniréseau CC demeure de nature démonstrative et que beaucoup sont motivés par des développeurs qui souhaitent être durables et soutenus par des initiatives et des financements gouvernementaux en matière d'efficacité énergétique. Parallèlement, de nombreux efforts de recherche ont été entrepris par plusieurs centres de recherche et universités en collaboration avec des fournisseurs d'électricité et des fabricants innovants. Certains fabricants de petite et de grande envergure ont également constaté une certaine préparation du marché, car ils connaissent un succès grandissant avec la commercialisation de leurs produits.

Le statu quo est bien ancré : la plupart des méthodes de conception, des pratiques industrielles, de la fabrication et des normes de sécurité actuelles sont orientées vers l'électricité en courant alternatif. En réponse à la nécessité d'un changement, cette étude a analysé

l'environnement de normes actuel afin de déterminer les écarts et d'identifier les étapes les plus critiques pour permettre l'adoption de systèmes d'alimentation CC. Voici les sept éléments prioritaires identifiés :

1. Établir des niveaux et des plages de tension CC standard. Pour déterminer ces éléments, les facteurs clés à équilibrer sont la sécurité, les coûts, l'efficacité énergétique, la compatibilité et les contraintes de plage.
2. Développer des critères d'approbation pour les équipements de mesure de l'alimentation CC pour la facturation des revenus; C'est une pierre angulaire essentielle pour que cette technologie devienne compétitive sur le marché.
3. Établir des configurations de prises standard pour les circuits CC afin d'activer la fonctionnalité prête à l'emploi, qui serait essentielle à l'adoption du marché de masse. Les interfaces USB et PoE largement utilisées ne concernent que les appareils de faible puissance.
4. Mettre à jour les normes de produit pour permettre la commercialisation de l'équipement utilisant le courant continu; l'équipement d'éclairage, les entraînements par moteur et l'équipement de charge de véhicule électrique étant les plus pertinents actuellement.
5. Clarifier les règles d'interconnexion des RÉD. À mesure que les réseaux de distribution comportant des ressources d'énergie distribuées deviennent plus complexes, des règles mises à jour sont nécessaires pour s'adapter à ces environnements dynamiques. Les principaux problèmes à prendre en compte sont les suivants : l'îlotage, les moyens d'isolement, les emplacements d'interconnexion, la commande du miniréseau, la gestion de la demande, le dimensionnement des conducteurs et l'interruption du courant.
6. Déterminer les dispositions relatives à l'installation de sécurité des personnes pour les miniréseaux CC, c'est-à-dire l'alimentation d'urgence, l'éclairage, l'alarme incendie et la protection contre les incendies.
7. Élaborer des normes de produit et des règles d'installation pour les dispositifs de protection CC.

Bien qu'une grande quantité de travail technique détaillé soit nécessaire pour traiter ces sujets, il est important de garder une vue d'ensemble du passage vers un réseau intelligent actuel, qui évoluera à mesure que de nouveaux changements vont se produire.

Références

1. Vossos, V., Johnson, K., Kloss, M., Khattar, M., Gerber, D. and Brown, R. (mai 2017). *Review of DC Power Distribution in Buildings: A Technology and Market Assessment.* Lawrence Berkeley National Laboratory. Extrait de https://escholarship.org/uc/item/2dd536p1

2. Denkenberger, D., Driscoll, D., Lighthiser, E., May-Ostendorp, P., Trimboli, B., and Walters, P. (octobre 2012). *DC Distribution Market, Benefits, and Opportunities in Residential and Commercial Buildings.* Pacific Gas & Electric Company. Extrait de https://www.xergyconsulting.com/dc-power-distribution-buildings/

3. Pehl, K., Capodicasa, T. (2018) *CompuCom - First Full PoE Lighting Building in the World.* Optima Engineering white paper. Extrait de https://optimapa.com/compucom-headquarters-the-digital-building-2/

4. Philips. (June 2015). *Philips shines light on opening of the office of the future – the Edge in Amsterdam.* philips.com. Extrait de https://www.philips.com/aw/about/news/archive/standard/news/press/2015/20150625-Philips-shines-light-on-opening-of-the-office-of-the-future-the-Edge-in-Amsterdam.html

5. Hirsch, A., Parag, Y., Guerrero, J. (2018). *Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues.* Renewable and Sustainable Energy Reviews 90, p. 402 à 411, Elsevier. Extrait de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211830128X

6. Ressources naturelles Canada. (août 2017). *Une construction intelligente – une stratégie canadienne pour les bâtiments – un moteur essentiel du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques.* Conférence des ministres de l'Énergie et des Mines. St. Andrews by-the-Sea, Nouveau-Brunswick. Extrait de https://www.rncan.gc.ca/efficacite-energetique/efficacite-energetique-des-batiments/une-strategie-canadienne-batiments/20536

7. Ressources naturelles Canada. (2018). Énergie et les émissions de gaz à effet de serre (GES). Ressources naturelles Canada – Faits saillants sur l'énergie. Extrait de https://www.rncan.gc.ca/science-donnees/donnees-analyse/donnees-analyse-energetiques/faits-saillants-sur-lenergie/energie-emissions-gaz-effet-serre-ges/20074

8. Canadian Home Builders' Association. (mai 2017). *Net Zero Home Labeling Program*. Extrait de http://www.chba.ca/CHBA/HousingCanada/Net_Zero_Energy_Program/CHBA/Housing_in_Canada/Net_Zero_Energy_Program/NZE_Program_Landing_Page.aspx?hkey=4af3da17-b4da-42ef-bf20-261a9cfbe39f

9. Province de la Colombie-Britannique. (2018) *Energy Step Code – Building Beyond The standard.* Division des normes de construction et de sécurité, Province de la Colombie-Britannique. Extrait de https://energystepcode.ca/

10. REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. (2018). *Renewables 2018 Global Status Report.* GSR 2018 Microsite. Extrait de http://www.ren21.net/gsr-2018/.

11. Renewable Cities. (juillet 2018).. *Progress Update: 100% Renewable energy and Canadian Cities.* Extrait de https://www.renewablecities.ca/news-updates/100-per-cent-renewable-energy-and-canadian-cities

12. Ressources naturelles Canada. (2018) *Faits sur l'énergie renouvelable,* Ressources naturelles Canada – Faits saillants sur l'énergie.Extrait de https://www.rncan.gc.ca/science-donnees/donnees-analyse/donnees-analyse-energetiques/faits-saillants-sur-lenergie/faits-lenergie-renouvelable/20080

13. Canadian Solar Industries Association. (2018). *Roadmap 2020: Powering Canada's Future with Solar Electricity.* Extrait de https://www.cansia.ca/roadmap-2020.html

14. Ressources naturelles Canada (juin 2018). *La transition énergétique du Canada – Concrétiser notre avenir énergétique, ensemble.* Conseil Génération Énergie. Extrait de https://www.nrcan.gc.ca/20380

15. Pantano, S., May-Ostendorp, P. et Dayem, K. (juin 2016). *Demand DC: Accelerating the Adoption of DC in the Home. CLASP & Xergy consulting.* Extrait de https://clasp.ngo/publications/demand-dc-accelerating-the-adoption-of-dc-in-the-home.

16. BC Hydro. (mars 2015). *tockage d'énergie et réaction à la demande en vue d'une meilleure fiabilité dans une collectivité prédisposée à des pannes de courant.* Ressources naturelles Canada – Investissements actuels. Extrait de https://www.rncan.gc.ca/science-et-donnees/financement-et-partenariats/occasions-de-financement/investissements-actuels/stockage-denergie-et-reaction-la-demande-en-vue-dune-meilleure-fiabilite-dans-une-collectivite/4982.

17. Ressources naturelles Canada – Fonds pour l'énergie propre. (Septembre 2016). *Démonstration du stockage d'électricité au niveau commercial en utilisant des nouvelles et des batteries d'automobiles au lithium-ion transformées.* Extrait de https://www.rncan.gc.ca/science-et-donnees/financement-et-partenariats/occasions-de-financement/investissements-actuels/demonstration-du-stockage-delectricite-au-niveau-commercial-en-utilisant-des-nouvelles-et-des/4974.

18. NextEnergy. (septembre 2014). *Vehicle-To-Home (V2H).* Retrieved from http://nextenergy.org/vehicle-home-v2h/.

19. Ressources naturelles Canada. (2018). *Démonstrations d'infrastructures pour véhicules électriques.* Extrait de https://www.rncan.gc.ca/energie/financement-subventions-et-incitatifs/demonstrations-dinfrastructures-pour-vehicules-electriques/18387.

20. Association canadienne des automobilistes. (2018). *Véhicules électriques – Incitatifs gouvernementaux.* Extrait de https://www.caa.ca/fr/vehicules-electriques/incitatifs-gouvernementaux/

21. Ressources naturelles Canada. (mai 2018). *Base de données complète sur la consommation d'énergie.* Ressources naturelles Canada, Bureau de l'efficacité énergétique. Extrait de http://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/tableaux_complets/liste.cfm

22. Vossos, E., Pantano, S., Heard, R. et Brown, R. (septembre 2017). *DC Appliances and DC Power Distribution – A Bridge to the Future Net Zero Energy Homes.* Lawrence Berkeley National Laboratory. Extrait de https://escholarship.org/uc/item/0j43x1r3

23. Électro Fédération Canada. (2017). *Rapport de recherche 2017 – Power Shifts - Emerging Low-voltage Trends, Impacts & Opportunities for the Canadian Electrical Channel.* Extrait de http://www.electrofed.com/market-insights/industry-research/

24. California Public Utilities Commission. (juin 2015). *California Energy Efficiency Strategic Plan - New Residential Zero Net Energy Action Plan 2015-2020*. Extrait de http://www.cpuc.ca.gov/General.aspx?id=4125

25. California Energy Commission. (janvier 2016). *Energy Commission Adopts Lighting Standards to Save Californians More Than $4 Billion in Electricity Costs.* Communiqué de presse de la California Energy Commission. Extrait de https://www.energy.ca.gov/releases/2016_releases/2016-01-_27_adoption_of_lighting_standards_nr.html.

26. National Renewable Energy Laboratory. (2018). *Energy Design and Scoping Tool for DC Distribution Systems.* Ministère de l'Énergie des États-Unis, Bureau de l'efficacité énergétique et de l'énergie renouvelable. Extrait de https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/energy-design-and-scoping-tool-dc-distribution-systems.

27. Patterson, B. (mars 2016).*The Role of Hybrid AC/DC Building Microgrids in Creating a 21st Century Enernet Part I: Doing for Electricity What the Internet did for Communications.* Document de présentation technique de la Continental Automated Building Association. Extrait de http://www.caba.org/CABA/DocumentLibrary/Public/AC-DC-Microgrids-Part-1.aspx?WebsiteKey=451e6c9e-f8f5-4af2-b355-ee1dbdd2c908.

28. Yip A., interrogé par Gasse A. (mars 2017) *A Zondits interview – Bosch's DC Microgrid Platform.* Extrait de http://zondits.com/article/13922/zondits-interview-bosch-dc-microgrid-platform.

Annexe A

Matrice de l'étude de cas

DOMAINE D'APPLICATION	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	SOURCE	PRINCIPAUX OBSTACLES
▪ Distribution de l'alimentation CC ▪ Éclairage à DEL ▪ Onduleurs pour les prises d'alimentation CA ▪ Systèmes mécaniques (ascenseurs)	▪ Type : Institutionnel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 10 000 ▪ Année de conception : 2012 ▪ Opérationnel depuis : 2015 (composant d'alimentation CC non mis en œuvre)	Téléconférence avec le fabricant le 20 août 2018	▪ Financement : les coûts initiaux pour le système CC sont élevés par rapport à la demande actuelle du marché ▪ Les défauts d'arc et de mise à la terre CC doivent être résolus
▪ Photovoltaïque, batterie, distribution d'alimentation CC ▪ Éclairage à DEL CC ▪ Ordinateurs portables, moniteurs, téléphones, voyants de tâches en courant continu ▪ Moteurs de pompe, ventilateurs	▪ Type : Institutionnel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 37 000 ▪ Année de conception : 2015 ▪ Opérationnel depuis : 2016	Téléconférence avec le concepteur le 18 septembre 2018	▪ Impossible de souscrire à l'assurance ▪ Problème d'achat avec les contrats signés ▪ Trop avancé dans la phase de conception quand le concept de courant continu a été présenté
▪ 1 800 systèmes à débit d'air variable PoE ▪ Cordons de raccordement CAT6 fournissant un maximum de 25,5 W à 36 V CC à l'aide du protocole PoE+	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 36 ▪ Surface du projet (m^2) : 1 000 000 ▪ Opérationnel depuis : 2014	https://gblogs.cisco.com/ca/2015/12/03/building-the-most-innovative-workspace-in-Canada/ Consulté le 10 août 2018 Consulté le 10 août 2018	
▪ Développement d'un miniréseau complet de distribution de 380 V CC ▪ Deux réseaux photovoltaïques solaires séparés (50 kW) + redresseur à 380 V CC ▪ Batterie de 13,2 kWh ▪ Distribution d'une alimentation de 24 V CC de classe 2 pour l'éclairage de bureau et de plafonds hauts ▪ Centre de calcul CC ▪ Système de commande d'éclairage automatique entièrement intégré ▪ Stations de charge de plusieurs véhicules électriques à 100 kW (400 kW prévus)	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 380, 38 serveurs de données, 24 luminaires ▪ Surface du projet (m^2) : 70 000 ▪ Année de conception : 2002 ▪ Opérationnel depuis : 2005 (miniréseau CC commandé en 2015)	Téléconférence avec le développeur, 29 août 2018	▪ Normalisation des prises ▪ Création d'un environnement dans lequel les entreprises peuvent créer/certifier/vendre des systèmes et produits CC standard et créer la demande du marché et y répondre ▪ Les problèmes de certification ont été évités en étant autorisé à fonctionner à titre de laboratoire
▪ 3,1 kW en photovoltaïque solaire ▪ 13,1 kWh sur batterie ▪ chauffage du plancher CC ▪ Ventilateurs de plafond CC ▪ Appareils CC ▪ Charge de véhicules électriques ▪ Chauffage du plancher ▪ Appareils CC	▪ Type : Résidentiel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 400 ▪ Année de conception : 2013 ▪ Opérationnel depuis : 2016	Téléconférence avec le développeur, 29 août 2018	

DOMAINE D'APPLICATION	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	SOURCE	PRINCIPAUX OBSTACLES
▪ Deuxième miniréseau CC le plus diversifié aux États-Unis ▪ Actuellement, l'un des systèmes les plus précis et les plus surveillés ▪ Construit selon l'objectif d'utiliser le CC comme infrastructure de base dans l'appel d'offres initial	▪ Type : Institutionnel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 62 000 ▪ Année de conception : 2016 ▪ Opérationnel depuis : En construction	Téléconférence avec : ▪ Fabricant, 7 août 2018 ▪ Conseillers de recherche : 17 et 20 août 2018	▪ Aucune transmission de puissance n'est autorisée sur les câbles de calibre 15 ou plus pour le câblage CC de classe 2 – CSA 22.2 n° 244. ▪ Plusieurs sources de courant continu : comment les interconnecter en toute sécurité? ▪ Mesure du CC ▪ Difficulté à répertorier/approuver pour les produits CC – La norme CEI 60950 est la norme la plus proche, mais elle est plutôt générique ▪ Quelles sont les règles d'installation applicables aux sources à 380 V CC? ▪ Les règles de stockage de l'énergie doivent être mises à jour pour répondre aux problèmes de combustibilité et de ventilation ▪ Situation de poule et d'œuf : retard entre l'équipement CC et la disponibilité des produits, mais en même temps, il n'est pas facile de sortir des sentiers battus et de s'en procurer, car cela nécessite actuellement une ingénierie sur mesure ▪ Normes nécessitant un développement : tensions et connecteurs, communication pour la tension à 380 V/48 V.
▪ Réseaux photovoltaïques solaires de 150 kW montés sur le toit ▪ Distribution de 380 V ▪ Série de modules de serveur d'alimentation CC de 380 V à 24 V CC (unités de bloc d'alimentation) ▪ Éclairage à DEL CC à 24 V, 20 kW ▪ Station de charge de véhicule électrique, 40 kW ▪ Système de climatisation, 30kW	▪ Type : Institutionnel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 5 000 ▪ Année de conception : 2012 ▪ Opérationnel depuis : 2015	Téléconférence avec le fabricant le 7 août 2018	
▪ Puissance CC directe couplée à partir de sources d'alimentation photovoltaïques solaires ou CA ▪ Éclairage à DEL CC	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 1 000 ▪ Année de conception : 2014 ▪ Opérationnel depuis : 2015		
▪ Distribution de l'alimentation de 380 V CC ▪ Réseau d'unités de bloc d'alimentation de 380 V à 24 V CC ▪ Alimentations de classe 2 vers les luminaires à DEL pour plafond haut ▪ Réseau BacNET : gestion automatisée de l'alimentation et des luminaires	▪ Type : Industriel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 200 000		
Étude comparant les solutions d'éclairage à DEL à alimentation CC avec des commandes sans fil automatisées par rapport à la technologie fluorescente T8 32 traditionnelle	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 10 000		
▪ Système de miniréseau CC entièrement fonctionnel et indépendant ▪ Réseaux photovoltaïques solaires et stockage d'énergie sur batterie ▪ Système de distribution et de gestion de l'électricité CC basé sur un bloc d'alimentation	▪ Type : Installation militaire ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Opérationnel depuis : 2011		
Un projet parmi une dizaine de projets d'éclairage et de commande	▪ Type : Médical		

DOMAINE D'APPLICATION	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	SOURCE	PRINCIPAUX OBSTACLES
▪ Générateur au gaz naturel, 10 kW ▪ Photovoltaïque solaire, 16 kW ▪ Batterie de 100 kWh ▪ Éclairage à DEL CC pour plafond haut ▪ Redresseur CA, 12 kW ▪ Convertisseur bidirectionnel, 30 kW ▪ Climatisation CC ▪ Réfrigérateur CC	▪ Type : Industriel ▪ Tension CC : 380 charges de DEL pour plafond haut, 750 bus CC, 375 lignes au neutre ▪ Surface du projet (m^2) : 46 000 ▪ Année de conception : 2016 ▪ Opérationnel depuis : 2017	Téléconférence avec le fabricant, 24 août 2018	▪ Aucun dispositif de protection pour l'application de courant continu dans les réseaux de distribution. La plupart des équipements proviennent du marché solaire, mais nécessitent souvent une adaptation ou une modification. Par conséquent, le coût est fortement augmenté. ▪ Des disjoncteurs sont disponibles, mais ne sont pas certifiés pour l'Amérique du Nord; des tests supplémentaires ont été nécessaires. En raison de l'absence de composants, le développeur a été contraint de fabriquer en interne la plupart des pièces de conversion de puissance. ▪ Il n'y avait pas de normes pour l'équipement ou les installations des systèmes CC – le Code CE doit être interprété pour prendre en compte les différences entre les systèmes CA classiques et les systèmes CC. ▪ L'obtention des permis de construction était difficile en raison du manque de compréhension et d'expérience des organisations fournissant les permis. ▪ Considération spéciale lors de l'utilisation d'un bus bipolaire pour traiter l'appel de courant, la formation d'arcs CC, la mise sous tension du système et l'équilibrage de la tension CC. ▪ La petite taille des entreprises impliquées a entraîné des préoccupations quant à la garantie ou au service pour les clients autant au niveau du système que des composants.
▪ 44 luminaires CC ▪ 150 kW de réseaux solaires ▪ 100 kWh en stockage d'énergie ▪ 4 ventilateurs de plafond CC	▪ Type : Installation militaire ▪ Tension CC : 380 ▪ Taille du service (intensité de courant) : 50 ▪ Année de conception : 2014 ▪ Opérationnel depuis : 2015	Téléconférence avec : ▪ Concepteur, 7 août 2018 ▪ Conseiller en recherche, 20 août 2018	▪ Fournisseurs : produits non disponibles comme annoncé ▪ Prix et facilité d'entretien des composants sur mesure/prototypes ▪ Éclairage d'urgence : un défi avec les inspecteurs (pour le système PoE) ▪ Équipement mécanique : niveaux de tension universels qui ne correspondent pas
▪ 625 luminaires à DEL CC ▪ 12 ventilateurs de plafond CC ▪ 12 chargeurs de chariots élévateurs électriques CC ▪ 286 kW de réseaux solaires ▪ 180 kW/540 kWh en stockage d'énergie	▪ Type : Industriel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 10,00 ▪ Taille du service (intensité de courant) : ▪ Année de conception : 2015 ▪ Opérationnel depuis : 2018	http://boschbgt.com/ Consulté le 10 août 2018	
▪ 30 kW de photovoltaïque solaire ▪ 40 luminaires à DEL CC ▪ 2 ventilateurs de plafond CC ▪ Chargeurs de chariots élévateurs ▪ Batterie à flux et chargeurs de batterie ▪ UPS ▪ Treuil CC ▪ Multiprises CC pour diverses charges CC	▪ Type : Industriel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 15 000 ▪ Taille du service (intensité de courant) : 1000 ▪ Année de conception : 2015 ▪ Opérationnel depuis : 2017	Téléconférence avec le concepteur le 7 août 2019	▪ Fournisseurs : produits non disponibles comme annoncé ▪ Prix et facilité d'entretien des composants sur mesure/prototypes ▪ Éclairage d'urgence : un défi avec les inspecteurs (pour le système PoE) ▪ Équipement mécanique : niveaux de tension universels qui ne correspondent pas

DOMAINE D'APPLICATION	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	SOURCE	PRINCIPAUX OBSTACLES
▪ 139 luminaires à DEL CC ▪ 4 ventilateurs de plafond CC ▪ 74 kW de réseaux solaires ▪ 30 kWh d'accumulateur au plomb-acide	▪ Type : Industriel	http://boschbgt.com/ Consulté le 10 août 2018	
▪ 1 442 luminaires à DEL ▪ 1 914 connexions PoE ▪ 54 bâtis Cisco	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 150 000 ▪ Année de conception : 2016 ▪ Opérationnel depuis : 2017	Téléconférence avec le concepteur le 7 août 2018	▪ Fournisseurs : produits non disponibles comme annoncé ▪ Prix et facilité d'entretien des composants sur mesure/ prototypes ▪ Éclairage d'urgence : un défi avec les inspecteurs (pour le système PoE) ▪ Équipement mécanique : niveaux de tension universels qui ne correspondent pas
▪ Photovoltaïque solaire – 25,4 kW ▪ Stockage sur batterie – 83 kWh ▪ 24 ordinateurs portables/écrans post-équipés + éclairage à DEL dans une seule suite ▪ Considérations futures : batterie de secours pour ascenseur, éclairage d'urgence, remplacement des boîtiers du système à débit d'air variable	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 780 (photovoltaïque), 380, 48, 24, 12, 5 ▪ Surface du projet (m^2) : 40 000 ▪ Taille du service (intensité de courant) : 400 ▪ Année de conception : 2017 ▪ Opérationnel depuis : En construction	Téléconférences avec : ▪ Responsable des opérations du bâtiment, 17 août 2018 ▪ Entrepreneur, 14 août 2018 ▪ Conseillers de recherche, 17 et 20 août 2018	▪ L'utilisation d'un bloc d'alimentation CC propriétaire permet d'atteindre 95 W seulement sur les ordinateurs de bureau ▪ Pas d'appareils CC commerciaux considérables ▪ Des appareils CC résidentiels existent, mais ne sont généralement pas des appareils domestiques aux États-Unis ▪ Les niveaux de tension de charge de la fiche doivent être normalisés
▪ Photovoltaïque solaire, 50 kW ▪ Énergie éolienne, 10 kW ▪ Stockage sur batterie, 70 kWh ▪ Chargeurs de véhicules électriques pour chariots élévateurs ▪ 150 luminaires à DEL, ordinateurs	▪ Type : Industriel ▪ Tension CC : 380 ▪ Surface du projet (m^2) : 55 000 ▪ Opérationnel depuis : 2016	Téléconférence avec un expert du secteur, 29 août 2018	▪ Approbation des services publics (unique aux États-Unis) : les propriétaires des câbles ne sont pas autorisés à produire leur propre électricité après la déréglementation ▪ 380 V est la « zone idéale » pour la tension dans les bâtiments, mais quels sont les niveaux de tension appropriés pour des installations/ zones/distribution d'énergie plus grandes, etc. – 750 V? 1 500 V?
▪ Photovoltaïque solaire, 30 kW ▪ Stockage sur batterie, 50 kWh ▪ Retrait des anciens câbles ▪ Connexion du véhicule électrique au tableau de bord	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 380 ▪ Surface du projet (m^2) : 20 000 ▪ Opérationnel depuis : 2018		
▪ Entrée CA de 5 MW 15 kV, sous-distribution dans le bâtiment ▪ 4 160, 480, 120/220 CA dans le bâtiment ▪ Miniréseau CC allant jusqu'à 1 MW ▪ Photovoltaïque solaire 500 kW ▪ Turbines éoliennes à axe vertical ▪ Véhicule électrique sur le tableau de bord ▪ Production de gaz naturel sur site (existant) ▪ Alimentation dédiée de la sous-station d'électricité (Duquesne Light Co.)	▪ Type : Démonstration en laboratoire ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Année de conception : 2015 ▪ Opérationnel depuis : 2016		
▪ Charge de 3 MW ▪ Photovoltaïque solaire, 200 kW ▪ Production éolienne ▪ 3 stockages sur batterie à grande échelle ▪ Générateurs diesel existants	▪ Type : Industriel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Opérationnel depuis : 2018		

DOMAINE D'APPLICATION	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	SOURCE	PRINCIPAUX OBSTACLES
▪ Photovoltaïque solaire ▪ 20 éclairages à DEL ▪ Ordinateurs portables, moniteurs et refroidisseur d'eau pour 10 bureaux	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 380 (nominal), 200 ▪ Surface du projet (m^2) : 1 100 ▪ Année de conception : 2018 ▪ Opérationnel depuis : 2018	Téléconférence avec un conseiller en recherche, 20 août 2018	▪ Situation de poule et d'œuf : retard entre l'équipement CC et la disponibilité des produits, mais en même temps, il n'est pas facile de sortir des sentiers battus et de s'en procurer, car cela nécessite actuellement une ingénierie sur mesure ▪ Normes nécessitant un développement : tensions et connecteurs, communication pour la tension à 380 V/48 V.
▪ 19 bâtiments, interconnexion derrière le compteur ▪ 2,8 à 4,2 kW en photovoltaïque par maison ▪ 4,8 kWh de stockage sur batterie par maison ▪ Climatisation CC, four à induction CC, cafetière CC, machine à takoyaki CC ▪ Convertisseur CC/CC bidirectionnel	▪ Type : Résidentiel ▪ Tension CC : 380, 100 ▪ Taille du service (intensité de courant) : 7 (miniréseau CC), 15 (appareils CC) ▪ Opérationnel depuis : 2014	Correspondance par courriel avec le concepteur, 7 septembre 2018	▪ Prévention des étincelles et des arcs sur la sortie CC – nécessaire pour concevoir un module sans arc sur mesure ▪ Il est difficile de trouver des appareils à courant continu pour la cuisson – nécessaire de modifier l'appareil à courant alternatif existant pour une utilisation en courant continu
▪ 400 kW d'énergie solaire ▪ Stockage d'énergie en conteneur avec SuperModule[MC] ▪ Charges de l'espace de bureau et du centre d'exploitation	▪ Type : Commercial ▪ Opérationnel depuis : 2016	Téléconférence avec le fabricant, 14 septembre 2018	▪ Le Canada et les États-Unis ont beaucoup d'eau, de charbon, etc. pour la production d'électricité – étude de cas faible pour la photovoltaïque ▪ Ce n'est pas tout le monde qui voit la valeur de la résilience ▪ Difficultés d'approbation des prises
Système de photovoltaïque, 180 kW Stockage d'énergie, 112 kWh	▪ Type : Industriel ▪ Opérationnel depuis : 2017		
▪ 400 kW de photovoltaïque solaire sur site ▪ 2 systèmes EnSync Energy SuperModule[MC] dans des conteneurs de 20 pieds qui contiennent : 850 kWh de stockage d'énergie hybride	▪ Type : Industriel ▪ Opérationnel depuis : 2017		
▪ Auvent couvert de panneaux photovoltaïques générant 750 kW ▪ Système de stockage d'énergie de 500 kWh ▪ Modules individuels interconnectés par la liaison CC propriétaire pair à pair derrière le compteur de chaque unité	▪ Type : Résidentiel ▪ Opérationnel depuis : en construction		

DOMAINE D'APPLICATION	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	SOURCE	PRINCIPAUX OBSTACLES
Éclairage à courant continu fluorescent prêt à l'emploi standardisé d'EMerge	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 10 000 ▪ Année de conception : 2010 ▪ Opérationnel depuis : 2010	Téléconférence avec le concepteur le 18 septembre 2018	▪ Aucune option pour les luminaires : le fabricant n'avait pas obtenu la certification UL pour l'ampoule avec le pilote Nextek, qui nécessitait une recertification, une fabrication différée et une ligne de projet, ainsi que des coûts et du temps supplémentaires ▪ 2 lampes fluorescentes avec pilote CC – consommation d'énergie du circuit assez rapide ▪ Dans le cas de certains éclairages de couloir et d'urgence, il n'a pas pu trouver de luminaires CC économiques ▪ Peu de gens pensent au CC, la conception prend donc plus de temps et d'efforts
Réseau de plafond CC	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 1 000 ▪ Opérationnel depuis : 20112	Téléconférence avec le concepteur le 9 août 2018	▪ Pas assez d'équipement disponible pour le courant continu (les ordinateurs, par exemple) ▪ Le système basse tension nécessite plusieurs convertisseurs CA à CC
Installation en classe et tests en laboratoire de divers éclairages fluorescents CC	▪ Type : Commercial ▪ Opérationnel depuis : 2010	Téléconférence avec le chercheur, 22 août 2018	
Réseau de plafond CC, têtes de rail de 100 pi	▪ Type : Commercial ▪ Surface du projet (m^2) : 1 000 ▪ Taille du service (intensité de courant) : 20 ▪ Année de conception : 2011 ▪ Opérationnel depuis : non construit	Téléconférence avec le concepteur le 7 août 2018	▪ Aucune sélection de luminaires CC à l'heure actuelle
Réseau de plafond CC à alimentation solaire, 1 000 W, 6 luminaires à DEL	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 90 ▪ Surface du projet (m^2) : 200 ▪ Taille du service (intensité de courant) : 20 ▪ Année de conception : 2010 ▪ Opérationnel depuis : 2010	Téléconférence avec le concepteur le 7 août 2018	▪ Fournisseurs : produits non disponibles comme annoncé ▪ Prix et facilité d'entretien des composants sur mesure/prototypes ▪ Éclairage d'urgence : un défi avec les inspecteurs (pour le système PoE) ▪ Équipement mécanique : niveaux de tension universels qui ne correspondent pas
▪ 70 kW d'énergie photovoltaïque solaire ▪ Les unités de bloc d'alimentation Nextek distribuent une alimentation de classe 2 à tous les éclairages généraux à DEL	▪ Type : Commercial ▪ Surface du projet (m^2) : 5 000 ▪ Opérationnel depuis : 2010	Téléconférence avec le fabricant, 7 août 2018	▪ Aucune transmission de puissance n'est autorisée sur les câbles de calibre 15 ou plus pour le câblage CC de classe 2 – CSA 22.2 n° 244. ▪ Plusieurs sources de courant continu : comment les interconnecter en toute sécurité? ▪ Mesure du CC ▪ Difficulté à répertorier/approuver pour les produits CC – La norme CEI 60950 est la norme la plus proche, mais elle est plutôt générique ▪ Quelles sont les règles d'installation applicables aux sources à 380 V CC? ▪ Les règles de stockage de l'énergie doivent être mises à jour pour répondre aux problèmes de combustibilité et de ventilation
Treillis de plafond sous tension DC FlexZone d'Armstrong	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 24 ▪ Opérationnel depuis : 2016		
Huit étages complets de luminaires à DEL et de commandes IPv6	▪ Type : Institutionnel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 110 000 ▪ Année de conception : 2016 ▪ Opérationnel depuis : 2017		

DOMAINE D'APPLICATION	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	SOURCE	PRINCIPAUX OBSTACLES
Évaluation des systèmes d'éclairage CC : Recherche et développement, évaluation des coûts, de l'efficacité et des problèmes techniques	▪ Type : Démonstration en laboratoire ▪ Tension CC : 24 ▪ Opérationnel depuis : 2018	Téléconférence avec le chercheur, 22 août 2018	▪ La technologie PoE est adaptée à la basse tension, mais les chutes de tension influencent également l'efficacité de l'éclairage, qui doit être incluse dans le calcul de l'efficacité
▪ Matrice photovoltaïque, 32 kW ▪ 350 kWh en stockage sur batterie ▪ Convertisseur multiports, 30 kW ▪ Aucune charge CC	▪ Type : Industriel ▪ Opérationnel depuis : 2016	https://content.equisolve.net/idealpower/news/2016-04-26_Aquion_Energy_s_AHI_Batteries_and_Ideal_Power_s_568.pdf Consulté le 23 août 2018	▪ La technologie PoE est adaptée à la basse tension, mais les chutes de tension influencent également l'efficacité de l'éclairage, qui doit être incluse dans le calcul de l'efficacité
▪ Commandes intégrées aux luminaires ▪ 45 000 points d'éclairage à DEL PoE	▪ Type : Institutionnel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Surface du projet (m^2) : 70 000 ▪ Opérationnel depuis : 2016	https://escholarship.org/uc/item/2dd536p1 Consulté le 23 août 2018	
▪ Système d'éclairage CC ▪ Nanoréseau de 24 V CC pour charges d'appareils électroniques ▪ Chargeur CC pour véhicule électrique ▪ Micro centrale bivalente CC ▪ Unités de conversion optimale d'énergie photovoltaïque CC ▪ Redresseur central et module de commande réseau ▪ Unité de surveillance d'alimentation CA/CC mixte	▪ Type : Industriel ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Opérationnel depuis : 2016	https://www.researchgate.net/publication/308277390_Energy_efficient_low-voltage_DC-grids_for_commercial_buildings Consulté le 23 août 2018	
▪ Matrice photovoltaïque ▪ Stockage sur batteries au lithium-ion ▪ Éclairage à DEL ▪ Un réfrigérateur ▪ Appareils électroniques ▪ Charge de véhicules électriques	▪ Type : Commercial ▪ Tension CC : 380, 24 ▪ Opérationnel depuis : 2018	https://escholarship.org/uc/item/2dd536p1 Consulté le 23 août 2018	

Annexe B

QUESTIONNAIRE POUR L'ENTREVUE D'ÉTUDE DE CAS

Questionnaire de l'étude de cas sur les bâtiments CC

Le but de ce questionnaire est de recueillir des informations pour une étude de la CSA sur les bâtiments alimentés par courant continu (CC). L'étude a pour objectif d'assembler des études de cas mondiales sur des bâtiments CC ou des parties de bâtiments CC construits à ce jour, y compris des informations pertinentes comme la tension, la taille du service, la surface du bâtiment et l'étendue des systèmes CC.

Les systèmes pertinents pour l'étude peuvent inclure tout centre de données CC, miniréseau CC et systèmes généraux de distribution d'énergie CC alimentant les charges typiques d'un bâtiment comme l'éclairage, les systèmes mécaniques, l'équipement du locataire et les appareils électriques.

Une autre partie de la même étude examine les moteurs et les obstacles à l'adoption des systèmes d'alimentation CC, notamment l'examen des codes et des normes pertinents. Les réponses à ce questionnaire seront précieuses pour identifier ces informations et aider à évaluer les besoins de l'industrie dans ce domaine du point de vue du développement des normes.

1. Veuillez fournir un résumé du ou des projets de bâtiment à alimentation CC auxquels vous avez participé :
   - **a.** Quels étaient les principaux objectifs et les principaux moteurs du projet?
   - **b.** Pourquoi un système d'alimentation CC a-t-il été choisi?
   - **c.** Qui composait les équipes de développement et de conception?Des partenaires de recherche/financement ont-ils participé?
   - **d.** Y a-t-il eu des personnes-ressources au sein de l'équipe de conception ou de développement que vous recommanderiez pour obtenir plus d'informations sur le projet?
   - **e.** Donnez les grandes lignes de la portée et de l'approche du projet : Type d'occupation de l'installation et du bâtiment, superficie du bâtiment, coût de construction, niveaux de tension utilisés, taille du service d'alimentation, conception du système de chauffage/climatisation, produits/composants utilisés, étendue des systèmes d'alimentation CC, applications d'alimentation CC inhabituelles (p. ex., ascenseurs, équipement industriel), etc.
2. Quelles difficultés et obstacles rencontrés pourraient empêcher l'adoption de l'alimentation CC dans les bâtiments?
   - **a.** Quels éléments manquants ont rendu la conception de l'alimentation CC difficile à mettre en œuvre, plus précisément, en termes de technologie, de raisons économiques et de codes? Comment les écarts ont-ils été résolus?
   - **b.** Quelles difficultés ont été éprouvées lors de l'approvisionnement des composants (p. ex., les types de câblage, les disjoncteurs, l'équipement de conversion de l'alimentation, les connecteurs, les appareils d'utilisation finale, etc.)?
   - **c.** Comment les conceptions et les installations ont-elles été approuvées par l'inspecteur en électricité/l'autorité compétente? Par exemple, le code électrique (Code CE/NEC) couvre-t-il toutes les exigences d'installation? Des écarts/autorisations spéciales ont-ils été nécessaires? Pour quels aspects?
3. Résumez les principaux enseignements tirés du projet :
   - **a.** Avantages et applications idéales des systèmes d'alimentation CC
   - **b.** Inconvénients et applications moins adaptées aux systèmes d'alimentation CC
   - **c.** Considérations uniques pour les bâtiments CC
   - **d.** Domaines clés pour la recherche future, le développement de produits et l'élaboration de normes

ANNEXE C

Normes internationales

Les normes actuellement répertoriées peuvent faire partie des priorités d'adoption au Canada. Voir la section 3.0

ORGANISME DE NORMALISATION	NUMÉRO DE LA NORME	TITRE / CATÉGORIE
NFPA (National Fire Protection Association)	70-2017	National Electrical Code
	Article 408	Switchboards, switchgear and panelboards
	Article 480	Batteries d'accumulateurs
	Article 690	PV systems over 600 Volts
NFPA (National Fire Protection Association)	70B-2016	Recommended Practice for Electrical Equipment Maintenance
NFPA (National Fire Protection Association)	77-2014	Recommended Practice on Static Electricity
NFPA (National Fire Protection Association)	Article 250 Section VIII	Grounding & Bonding – Direct
NFPA (National Fire Protection Association)	Article 393	Current Systems – Articles 250.160 à 250.169
DIN (institut allemand de normalisation)	VDE 0100-100	Low-voltage suspended ceiling power distribution systems
DIN (institut allemand de normalisation)	VDE 0100-410	Low-voltage electrical installations – Part 1: Fundamental principles, assessments of general characteristics, definitions
DIN (institut allemand de normalisation)	VDE 0100-530	Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety - Protection against electric shock
DIN (institut allemand de normalisation)	VDE 0100-540	Low-voltage electrical installations – Part 530: Selection and erection of electrical equipment – Switchgear and controlgear
DIN (institut allemand de normalisation)	EN 61557-2	Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors
DIN (institut allemand de normalisation)	EN 61557-8	Electrical safety in low-voltage distribution systems up to 1000 V a.c. and 1500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 2: Insulation resistance
DIN (institut allemand de normalisation)	EN 61557-9	Electrical safety in low-voltage distribution systems up to 1000 V a.c. and 1500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60050-614	International electrotechnical vocabulary – Part 614: Generation, transmission and distribution of electricity Operation
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60034-1	Machines électriques tournantes – Partie 1 : Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	61362	Guide pour la spécification des systèmes de régulation des turbines hydrauliques
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60308	Turbines hydrauliques – Essais des systèmes de régulation
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	61992	Appareillage à courant continu
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60038	Tensions normales
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	62848-1	Parafoudres pour réseaux à courant continu

ORGANISME DE NORMALISATION	NUMÉRO DE LA NORME	TITRE / CATÉGORIE
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	62924	Système stationnaire de stockage d'énergie pour les systèmes de traction en courant continu
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	62053-41	Electricity metering equipment (DC) – Particular requirements
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	61378-3	Transformateurs de conversion
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	62620	Performance of lithium ion batteries for industrial apparatus (unit battery/ battery pack)
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	62735-2	DC plugs and socket-outlets to be used in indoor access controlled areas – Part 2: Plug and socket-outlet system for 5,2 kW
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	61869-14	Specific Requirements for DC current transformers (CDV)
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	61869-15	Specific requirements for DC voltage transformers (CDV)
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	61180	High-voltage test techniques for low-voltage equipment: Definitions, test and procedure requirements, test equipment
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60947-2	Appareillage à basse tension – Partie 2 : Disjoncteurs
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60947-3	Appareillage à basse tension – Partie 3 : Interrupteurs, sectionneurs, interrupteurs-sectionneurs et combinés-fusibles
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	61439-8	Ensembles d'appareillage à basse tension – Partie 8 : Assemblies for photovoltaic installations
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60079-14	Atmosphères explosives – Partie 14 : Conception, sélection et construction des installations électriques
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60079-17	Atmosphères explosives – Partie 17 : Inspection et entretien des installations électriques
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60300 Series	Gestion de la sûreté de fonctionnement
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	60364-1	Installations électriques à basse tension – Partie 1 : Principes fondamentaux, détermination des caractéristiques générales, définitions
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	61010-1	Règles de sécurité pour appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire – Partie 1 : Exigences générales
IEC/IEEE (Commission Électrotechnique Internationale/Institute of Electrical and Electronics Engineers)	60079-30-1	Atmosphères explosives – Partie 30-1 : Traçage par résistance électrique – Exigences générales et d'essais
IEC/IEEE (Commission Électrotechnique Internationale/Institute of Electrical and Electronics Engineers)	60079-30-2	Atmosphères explosives – Partie 30-2 : Traçage par résistance électrique – Application guide for design, installation and maintenance
ANSI (American National Standards Institute)	B77.1	Passenger Ropeways — Aerial Tramways, Aerial Lifts, Surface Lifts, Tows and Conveyors — Safety Standard
ANSI (American National Standards Institute)	C84.1	American National Standard for Electric Power Systems and Equipment—Voltage Ratings (60 Hz)
ANSI/IEEE (American National Standards Institute/ Institute of Electrical and Electronics Engineers)	487	IEEE Standard for the Electrical Protection of Communications Facilities Serving Electric Supply Locations — General Considerations
ANSI/ISA (American National Standards Institute/ International Society of Automation)	12.27.01	Requirements for Process Sealing Between Electrical Systems and Flammable or Combustible Process Fluids

ORGANISME DE NORMALISATION	NUMÉRO DE LA NORME	TITRE / CATÉGORIE
ANSI/ISA (American National Standards Institute/ International Society of Automation)	RP 12.06.01	Recommended Practice for Wiring Methods for Hazardous (Classified) Locations — Instrumentation — Part 1: Intrinsic Safety
ANSI/NEMA (American National Standards Institute/ National Electrical Manufacturers Association)	WD 6	Wiring Devices — Dimensional Specifications
ASTM International	E11	Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	484	IEEE Recommended Practice for Installation Design and Installation of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	802.3	IEEE Standard for Ethernet
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	835	IEEE Standard Power Cable Ampacity Tables
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	837	IEEE Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	844	Recommended Practice for Electrical Impedance, Induction, and Skin Effect Heating of Pipelines and Vessels
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	835	IEEE Standard Power Cable Ampacity Tables
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	484	IEEE Recommended Practice for Installation Design and Installation of Vented Lead-Acid Batteries for Stationary Applications
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	802.3	IEEE Standard for Ethernet
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	835	IEEE Standard Power Cable Ampacity Tables
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	837	IEEE Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	844	Recommended Practice for Electrical Impedance, Induction, and Skin Effect Heating of Pipelines and Vessels
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	902	IEEE Guide for Maintenance, Operation, and Safety of Industrial and Commercial Power Systems (Yellow Book)
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	1202	IEEE Standard for Flame-Propagation Testing of Wire and Cable
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	1584	IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculations
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	1673	IEEE Standard for Requirements for Conduit and Cable Seals for Field Connected Wiring to Equipment in Petroleum and Chemical Industry Exposed to Pressures above Atmospheric (1.5 kPa, 0.22 psi)
ANSI/NEMA (American National Standards Institute/ National Electrical Manufacturers Association)	Z535.4	Product Safety Signs and Labels
* Les normes CEA sont disponibles par l'intermédiaire de CEATI International (Centre for Energy Advancement through Technological Innovation).	266 D 991	Clearance Distances Between Swimming Pools and Underground Electrical Cables
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	C62.41.1	IEEE Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	C62.41.2	IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and less) ACPower Circuits

ORGANISME DE NORMALISATION	NUMÉRO DE LA NORME	TITRE / CATÉGORIE
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	P1020/D12	IEEE Draft Guide for Control of Small (100 kVA to 5 MVA) Hydroelectric Power Plants
ISA (International Society of Automation)	12.01.01	Definitions and Information Pertaining to Electrical Equipment in Hazardous (Classified) Locations
ISA (International Society of Automation)	12.12.03-2011	Standard for Portable Electronic Products Suitable for Use in Class I and II, Division 2, Class I Zone 2 and Class III, Division 1 and 2 Hazardous (Classified) Locations
ISA (International Society of Automation)	12.20.01-2009 (R2014)	General Requirements for Electrical Ignition Systems for Internal Combustion Engines in Class I, Division 2 or Zone 2, Hazardous (Classified) Locations
ISA (International Society of Automation)	(publication non numérotée)	Magison, Ernest. Electrical Instruments in Hazardous Locations, 4e édition, 2007
ISA (International Society of Automation)	TR12.12.04:2011	Electrical Equipment in a Class 1, Division 2 / Zone 2 Hazardous Location
NFPA (National Fire Protection Association)	91	Standard for Exhaust Systems for Air Conveying of Vapors, Gases, Mists, and Non-combustible Particulate Solids
NFPA (National Fire Protection Association)	96	Standard for Ventilation Control and Fire Protection of Commercial Cooking Operations
NFPA (National Fire Protection Association)	505	Fire Safety Standard for Powered Industrial Trucks Including Type Designations, Areas of Use, Conversions, Maintenance, and Operation
TÉLÉCOMMUNICATIONS ET CENTRES DE DONNÉES		
ETSI (European Telecommunications Standards Institute)	EN 300132-3-0	Power supply Interface and input to telecommunications and datacom (ICT) equipment
ETSI (European Telecommunications Standards Institute)	EN 3061605	Earthing and bonding for 400VDC systems
UIT (Union internationale des télécommunications)	T L.1200	Spécification de l'interface avec le système d'alimentation électrique en courant continu
YD/T (Chine)	2378	240VDC 336V direct current power supply systems
ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions)	0600315	Voltage levels for 400VDC systems
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	62040-5-3	DC UPS test and performance standard
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	62040-5-1	Safety for DC UPS
CEI (Commission Électrotechnique Internationale)	TS62735-1	400VDC plug & socket outlet
YD/T (China)	2524-2015	336V HF switch mode rectifier for telecommunications
CHARGE D'UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE		
CHAdeMO		Charge rapide en courant continu
SAE/CCS		Charge en courant continu

Recherche du Groupe CSA

Dans le but de favoriser l'adoption de solutions normatives fondées sur le consensus afin d'accroître la sécurité et de favoriser l'innovation, le Groupe CSA soutient et effectue des recherches dans des domaines qui visent les industries nouvelles ou émergentes ainsi que sur des sujets et des questions qui touchent une vaste gamme de parties prenantes actuelles et potentielles. Les résultats de nos programmes de recherche étaieront l'élaboration de solutions normatives futures, ils offriront aux industries des directives provisoires sur la conception et l'adoption de nouvelles technologies et ils contribueront à démontrer notre engagement continu envers l'édification d'un monde meilleur, plus sécuritaire et plus durable.

GROUPE CSA™

© 2019 Association canadienne de normalisation. Tous droits réservés.