

Sommaire

Place à la puissance : infrastructure de recharge pour VE et maturité du réseau électrique en Ontario

Évaluation de l'infrastructure, de la capacité du réseau électrique et des approches politiques nécessaires pour assurer l'avenir de la mobilité électrique en Ontario

Rapport spécialisé trimestriel

Septembre 2025

Table des matières

1. Portrait de la recharge de VE	3
2. État de préparation du réseau électrique : capacité, flexibilité et contraintes	7
3. Contexte réglementaire de l'infrastructure: de recharge pour VE	17
4. Portrait de la recharge de VE en Ontario	23
5. Possibilités pour l'Ontario	40
6. Glossaire	47
7. L'équipe du ROIV	51
8. Avis de non-responsabilité	54

Sommaire

L'Ontario joue un rôle stratégique essentiel dans la conception de l'avenir de l'infrastructure de recherche pour véhicules électriques (VE), non seulement au Canada, mais aussi sur la scène internationale, en tant que chef de file de l'intégration au réseau intelligent et de l'innovation en transport propre. La demande en électricité des VE de la province devrait augmenter de 2,33 TWh d'ici 2026 et atteindre 41,75 TWh d'ici 2050, soit près de 16 % de la demande totale d'électricité. Devant cette augmentation considérable, il est impératif de soutenir la transition par une planification coordonnée, une capacité accrue et des technologies novatrices.

Fort de cadres stratégiques robustes, d'une infrastructure numérique de pointe et d'investissements proactifs dans la modernisation du réseau électrique, l'Ontario établit les normes pour aider les administrations à faire une transition vers la mobilité électrique qui rime avec fiabilité du réseau électrique, équité et croissance économique. Le leadership de la province, étayé par le déploiement de compteurs intelligents, la promotion des ressources énergétiques décentralisées (RED) et l'innovation dans les technologies d'échange d'énergie véhicule-réseau (V2G), la place à l'avant-garde de la transition énergétique.

Les capacités des réseaux intelligents de la province sont au cœur de sa stratégie en matière de VE. En Ontario, le déploiement des compteurs intelligents et de l'infrastructure relative aux compteurs avancés

(ICA) est pratiquement universel, de sorte qu'il est possible de gérer l'énergie en temps réel et d'intégrer des RED, par exemple des panneaux solaires sur les toits et des systèmes de stockage d'énergie par batterie. Des technologies telles que les systèmes de gestion des ressources énergétiques décentralisées (SGRED) et les centrales virtuelles (CV) permettent aux services publics de traiter les VE et autres actifs décentralisés comme des ressources flexibles du réseau électrique. Les fonctions d'analyse prédictive par l'intelligence artificielle (IA) sont utilisées pour prévoir les répercussions de la recharge de VE et optimiser la gestion de la charge, tandis que les modèles de stockage à la demande donnent une deuxième vie aux batteries pour VE afin de reporter les mises à niveau coûteuses de l'infrastructure.

Le cadre réglementaire de l'Ontario soutient la transition grâce à diverses initiatives, notamment les procédures de raccordement pour la recharge de véhicules électriques, qui définissent des exigences normalisées de raccordement pour les services publics, et les programmes fédéraux, dont le Programme d'infrastructure pour les véhicules à émission zéro (PIVEZ) et le *Règlement sur l'électricité propre*. À l'heure actuelle, les bornes de recharge sont fortement concentrées dans les régions urbaines de l'Ontario. Des disparités régionales persistent, en particulier dans les communautés rurales et du Nord, mais des initiatives telles que le réseau de recharge IVY et le Programme ontarien pour la recharge des véhicules électriques aident à réduire ces écarts. Les goulots d'étranglement du réseau électrique, caractérisés par

des transformateurs surchargés et des artères d'une capacité limitée, complexifient le développement du réseau et illustrent à quel point une planification et des investissements stratégiques sont nécessaires.

L'infrastructure de recharge de l'Ontario repose sur des réseaux publics et privés. Les bornes de recharge publiques, essentiellement de niveau 2, sont concentrées dans les régions urbaines et le long des autoroutes tandis que les bornes de recharge privées, surtout résidentielles, représentent près de 80 % des bornes pour VE en utilisation. Toutefois, l'accès à la recharge à domicile n'est pas universel, en particulier dans les immeubles résidentiels à logements multiples (IRLM); il importe donc de poursuivre l'expansion de l'infrastructure publique et de l'appuyer par des politiques ciblées.

Il est essentiel de gérer la charge pour assurer la stabilité du réseau électrique à mesure que l'adoption des VE s'accélère. L'Ontario préconise une tarification de l'électricité selon l'heure de consommation (FHC), y compris un tarif d'électricité de nuit très bas (NTB), pour inciter les utilisateurs à recharger leur véhicule durant les heures creuses. Des projets pilotes de gestion de la recharge ont fait état d'une réduction considérable de la demande en période de pointe et des technologies d'échange d'énergie de véhicule à X (VAX), y compris avec un réseau de distribution d'électricité (Vehicule-to-Grid ou V2G), un réseau domestique (Vehicule-to-Home ou V2H) et le réseau d'un bâtiment (Vehicule-to-Building ou V2B), qui s'avèrent viables d'un point de vue technique et économique. Ces innovations accroissent la résilience en permettant aux VE de

restituer de l'énergie au réseau de distribution d'électricité ou au réseau d'un bâtiment en plus d'offrir aux propriétaires de nouvelles sources de revenus.

Les questions environnementales et d'équité sociale sont au cœur des stratégies en matière de VE, y compris celles de l'Ontario. L'infrastructure de recharge pour VE contribue à la réduction des émissions et des risques pour la santé liés aux stations d'essence, tandis que des initiatives comme le Programme ontarien pour la recharge des VE et les normes de conception universelle concourent à un accès équitable. Des pratiques exemplaires ailleurs dans le monde, comme l'*Equitable EV Charging Act* en Californie et la politique sur le « droit de recharge » de la Norvège sont des avenues à étudier par l'Ontario. Par ailleurs, une planification communautaire et une conception inclusive sont essentielles pour assurer un accès à tous les utilisateurs.

La trajectoire de cette demande croissance doit aller de pair avec l'accroissement des capacités, la modernisation des systèmes de distribution, la coordination de la recharge intelligente et la robustesse des chaînes d'approvisionnement. Des initiatives telles que le volet de recharge évoluée et de V2G du Fonds de partenariats en R-D du ROIV misent sur les technologies de demain pour soutenir l'innovation et l'efficacité énergétique. Pour satisfaire à la demande, l'Ontario peut aussi accroître l'accès dans les IRLM, renforcer les réseaux de distribution dans les communautés rurales et éloignées, intégrer des technologies de recharge intelligente et V2G,

simplifier les processus de délivrance des permis et permettre aux VE réunis au moyen d'un agrégateur de participer au marché. La transparence des données et la confiance des consommateurs constituent aussi des pistes à explorer, par exemple, car des expériences de recharge fiables et conviviales sont primordiales pour accélérer l'adoption. En misant sur ses forces existantes et en s'attaquant aux défis actuels, l'Ontario est bien placé pour diriger la transition vers un avenir caractérisé par du transport électrique et propre.

Le présent rapport propose une analyse détaillée de l'infrastructure de recharge pour VE actuelle et projetée de l'Ontario, qui est étayée par des recherches et des entretiens avec des experts. Il examine si le réseau électrique est prêt à prendre en charge la demande croissante provenant de la recharge de VE, en mettant en relief les principaux défis et possibilités. Le rapport aborde différentes questions, notamment les progrès technologiques, les cadres politiques et réglementaires, les tendances du marché et les répercussions sur la stabilité du réseau électrique et la consommation d'énergie. Enfin, il donne un aperçu des occasions à saisir par l'Ontario pour continuer à développer son infrastructure et assurer une transition harmonieuse à un système de transport plus durable.

« En élargissant l'accès à l'infrastructure de recharge au-delà des centres urbains, nous veillons à ce que les travailleurs et les familles de la province puissent adopter les VE en toute confiance. »

— Victor Fedeli, ministre du Développement économique, de la Création d'emplois et du Commerce

1. Portrait de la recharge de VE

Les VE sont de plus en plus nombreux sur nos routes et les systèmes qui les alimentent évoluent rapidement. Le paysage de la recharge s'adapte, pour répondre aux besoins des utilisateurs et aux exigences opérationnelles, en proposant différents types de chargeurs et en misant sur de nouvelles technologies qui accélèrent et améliorent la recharge, comme la recharge intelligente, la recharge dynamique et l'échange de batterie. Les réseaux de recharge, publics comme privés, doivent avoir des caractéristiques précises pour satisfaire aux besoins de l'utilisateur moyen et ils se développent pour suivre l'évolution de la demande. Il importe de tenir compte des moyens d'améliorer l'expérience des utilisateurs et d'optimiser la consommation d'électricité pour favoriser le développement et la croissance de la recharge pour VE et de se pencher sur des facteurs tels que l'accessibilité, la disponibilité et la fiabilité pour gagner la confiance des consommateurs et faire en sorte qu'ils continuent à adopter les VE. Les innovations en matière de technologies et d'infrastructures, l'évolution des besoins des utilisateurs et les considérations relatives au réseau électrique façonnent l'avenir de la recharge de VE.



1.1 Chargeurs pour VE : la base

L'infrastructure de recharge pour VE se présente sous différentes formes en fonction des besoins et des environnements. Les chargeurs sont regroupés dans trois grandes catégories selon le type de recharge : niveau 1, niveau 2 et niveau 3. Les chargeurs pour VE peuvent être à courant alternatif (CA), utilisé généralement pour la recharge lente, ou à courant continu (CC), qui sert surtout à la recharge rapide.

Recharge de niveau 1

Méthode de recharge de VE la plus simple et la plus lente. Elle utilise une prise murale standard et permet de recharger entièrement un véhicule électrique à batterie (VEB) en 40 à 50 heures et un véhicule hybride rechargeable (VHR) en 5 à 6 heures. Elle ne convient pas pour recharger complètement des VEB en peu de temps, mais est idéale pour la recharge nocturne complète de VHR; c'est une bonne option pour les conducteurs qui font de courts trajets ou utilisent moins leur voiture.

Recharge de niveau 2

Méthode de recharge la plus courante. Option plus rapide et plus puissante que la recharge CA; les chargeurs sont installés dans les maisons et les établissements commerciaux par des maîtres-électriciens. Avec un chargeur de niveau 2, un VEB

peut se recharger en 4 à 10 heures et un VHR en 1 à 2 heures seulement. Les chargeurs de niveau 2 servent surtout à la recharge publique, qui est souvent appelée « recharge de destination » ou « d'occasion », car c'est l'option idéale pour les conducteurs qui prévoient rester plusieurs heures au même endroit ou veulent recharger partiellement leur véhicule.

Recharge de niveau 3

Méthode de recharge CC la plus rapide et la plus puissante; les chargeurs de niveau 3 alimentent directement la batterie en CC. Les chargeurs de niveau 3 servent habituellement à recharger les VEB, en 45 à 60 minutes environ. Les bornes de recharge de niveau 3 doivent être installées par des professionnels et coûtent beaucoup plus cher. Certains VE ne sont pas compatibles avec les chargeurs de niveau 3. Voici certaines des normes qui s'appliquent actuellement aux chargeurs de niveau 3 : système de recharge nord-américain (NACS ou SAE J3400), norme de recharge rapide japonaise CHAdeMO et le système de recharge combiné, version 2 (SRC-2).

Niveau 1

Temps de recharge
4 à 10 heures ou plus

Tension de
120V



Niveau 2

Temps de recharge
4 à 10 heures ou plus

Tension de
208 ou 240V



Niveau 3

Temps de recharge
45 à 60 minutes
ou plus

Tension de
480V



1.2 Technologies de recharge émergentes

Plusieurs nouvelles méthodes de recharge de VE sont en cours de développement et sont appelées à transformer le marché. En voici une description :

Recharge intelligente : les chargeurs intelligents sont connectés à l'Internet et accessibles à distance, ce qui permet une recharge programmée en fonction de la capacité du réseau et des signaux de tarification. Les propriétaires de VE peuvent ainsi optimiser l'heure de la recharge pour réaliser des économies, tout en permettant aux exploitants de réseau d'électricité de bénéficier d'une précieuse flexibilité pour gérer la demande. Outre les avantages pour le réseau électrique, la recharge intelligente permet de garder les batteries en bon état, car elle gère les régimes de charge afin d'éviter la surcharge et la surchauffe qui sont responsables de la baisse de performance des batteries au fil du temps.

Recharge dynamique : la recharge dynamique, qui s'effectue dans les véhicules en mouvement, est également à l'étude. Elle peut être réalisée via la conduction, notamment au moyen des lignes caténaïres aériennes couramment utilisées par les tramways et les systèmes légers sur rail, ou par recharge sans fil par induction.

Échange de batterie : solution émergente qui permet de remplacer rapidement une batterie déchargée par une batterie complètement chargée, offrant une commodité qui s'apparente à faire le plein dans une station d'essence. Elle peut

contribuer à réduire les coûts initiaux des VE, à prolonger la durée de vie des batteries grâce à une manipulation professionnelle, à diminuer la pression exercée sur les réseaux électriques et à soutenir les objectifs de l'économie circulaire en centralisant la réutilisation et le recyclage.

1.3 Caractéristiques des réseaux de recharge

Les stratégies de déploiement des bornes de recharge publiques, qui varient selon les pays et les villes, reposent sur des facteurs tels que la densité de population, l'accès à la recharge à domicile et la conception du réseau routier.

Réseaux publics

Les réseaux de recharge publics sont composés de deux grands types d'infrastructure : bornes de recharge de niveau 2 et de niveau 3. Les bornes de recharge publiques, essentiellement de niveau 2, sont concentrées dans les régions urbaines. Les bornes de recharges autoroutières, moins nombreuses, sont habituellement de niveau 3; comme elles sont plus puissantes, leur contribution à la capacité de charge totale est plus importante.

Réseaux privés

Les solutions de recharge privées demeurent les principales méthodes employées par les utilisateurs de VE; ainsi, environ 80 % de la recharge au Canada est effectuée à domicile, généralement pendant la nuit. Si l'infrastructure de recharge publique est essentielle, en particulier pour les conducteurs qui habitent dans

les IRLM, elle est utilisée moins souvent dans le cadre d'une conduite quotidienne. Toutefois, l'accès à la recharge à domicile n'est pas universel. De nombreux résidents d'immeubles collectifs souhaitant installer des bornes de recharge se butent à des obstacles, par exemple, lorsqu'une mise à niveau des bâtiments est impossible ou que les nouveaux complexes d'habitation ne sont pas adaptés pour les VE. Dans de tels cas, une infrastructure de recharge publique en milieu urbain devient un substitut indispensable. De plus, il faut que les véhicules moyens et lourds, aient accès à une infrastructure de recharge privée, notamment dans les marchés qui en sont à un stade précoce de développement. Cela comprend la recharge nocturne dans les dépôts et la recharge occasionnelle à destination, par exemple dans les entrepôts.

1.4 Utilisation de l'énergie et expérience des utilisateurs

L'adoption des VE s'accélère, si bien que les performances et la facilité d'utilisation de l'infrastructure de recharge revêtent de plus en plus d'importance. Outre leur disponibilité, l'efficacité et la fiabilité des bornes de recharge utilisées par les conducteurs sont des indicateurs clés du bon fonctionnement d'un système. Des facteurs tels que les taux d'utilisation de l'énergie, la fiabilité des chargeurs, les temps d'attente et l'accessibilité concourent tous à l'expérience générale des utilisateurs et influent sur la confiance du public dans les réseaux de recharge de VE. L'utilisation de l'infrastructure de recharge pour VE dépend à la fois de ses capacités et du comportement des utilisateurs. Au début de l'adoption

des VE, la capacité de l'infrastructure peut dépasser la demande et se traduire par de faibles taux d'utilisation. Maintenant que l'accélération de l'adoption se poursuit et que le marché gagne en maturité, l'utilisation devient plus efficace et s'arrime mieux à la demande. Cependant, une telle augmentation de la consommation d'électricité, notamment durant les heures de pointe, peut exercer une pression importante sur le réseau électrique. Pour relever ces défis, on pourra recourir davantage à des solutions et technologies émergentes qui optimisent le moment et la manière dont les VE consomment de l'électricité, de manière à équilibrer les charges du réseau électrique et à améliorer l'efficacité globale.

À mesure que l'utilisation et la disponibilité augmenteront, il faudra s'assurer de prendre en compte l'expérience utilisateur, fortement tributaire de l'accès et de la fiabilité. L'accès ne passe pas seulement par la disponibilité. De nombreuses bornes de recharge publiques sont qualifiées de « semi-publiques » étant donné qu'elles ne sont accessibles qu'à certains groupes, par exemple les clients d'hôtels ou de supermarchés, ou seulement pendant les heures d'ouverture. Même l'utilisation des bornes de recharge entièrement publiques peut être difficile en raison de l'incompatibilité des types de connecteurs, des systèmes de paiement restrictifs ou des limites propres aux marques. L'amélioration de l'expérience utilisateur ne repose pas seulement sur le développement de l'infrastructure; elle nécessite une normalisation, des performances fiables et un accès transparent aux

données en temps réel sur la disponibilité et les tarifs des bornes de recharge. Ces éléments sont primordiaux pour rendre l'infrastructure de recharge publique véritablement accessible et conviviale.

Le temps de disponibilité des bornes de recharge est également un indicateur clé de l'expérience utilisateur, car la recharge est possible seulement quand l'équipement est opérationnel. Un rapport commandé par Ressources naturelles Canada révèle qu'en janvier 2022, 6 % des chargeurs de niveau 2 et 5 % des chargeurs de niveau 3 étaient hors service, tandis que 7 % et 11 % des séances de recharge de niveau 2 et de niveau 3 ont échoué respectivement, et duré moins de cinq minutes. Pour ces raisons, la satisfaction moyenne des utilisateurs a été de seulement 3,6 sur 5, ce qui montre l'impact direct de la fiabilité technique sur la confiance et la satisfaction des conducteurs.

2. État de préparation du réseau électrique : capacité, flexibilité et contraintes

Au Canada et ailleurs dans le monde, les administrations investissent dans les technologies de réseaux électriques intelligents et l'infrastructure numérique pour faciliter l'intégration des VE aux réseaux électriques modernes. Des innovations telles que les réseaux électriques intelligents, dotés de fonctions de surveillance en temps réel, d'automatisation et de communication bidirectionnelle, aident à gérer plus efficacement l'énergie et facilitent l'adoption à grande échelle des VE. En combinant ces technologies aux compteurs intelligents, à l'IA, aux systèmes de gestion des ressources énergétiques décentralisées (SGRED) et à des modèles émergents comme le stockage à la demande (SaaS) et les centrales virtuelles (CV), l'industrie continue d'évoluer pour répondre à la demande croissante d'électricité, améliorer la résilience du réseau électrique et s'adapter aux principaux défis.



2.1 Intégration aux réseaux intelligents et infrastructure numérique

Maintenant que le marché mondial des VE arrive à maturité, de plus en plus de régions intègrent ces véhicules à des réseaux électriques intelligents et modernes. Ces efforts sont soutenus par des investissements croissants dans les technologies de réseau intelligent et l'infrastructure numérique, afin de gérer l'énergie en temps réel, d'améliorer la fiabilité du réseau électrique et de soutenir la transition vers des systèmes de transport plus propres.

Réseaux électriques intelligents

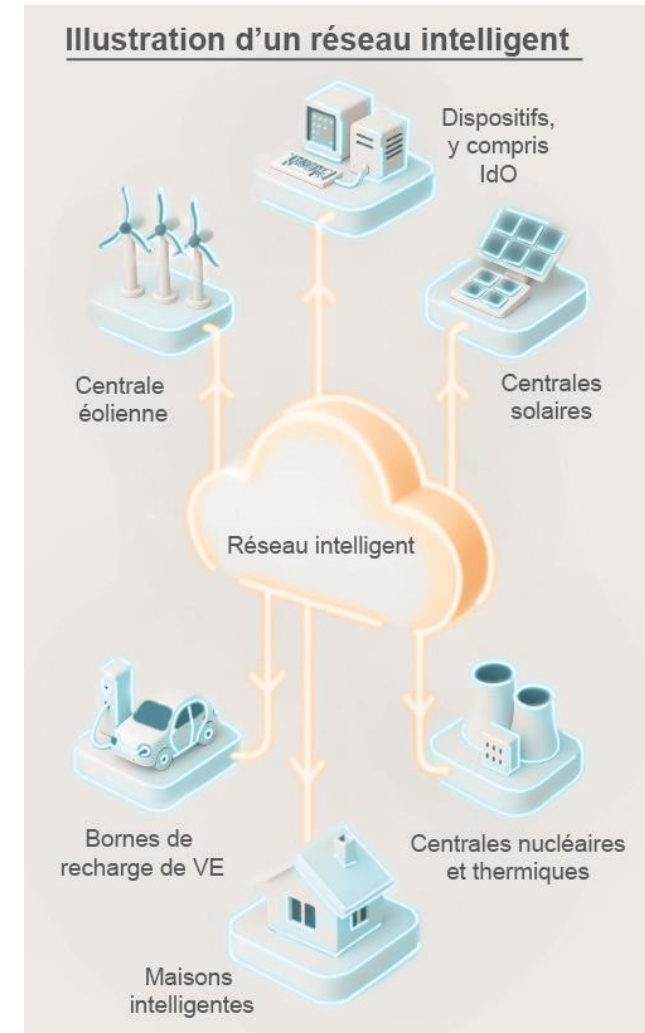
Réseau intelligent s'entend d'un réseau électrique amélioré grâce à des technologies de communication numérique et d'automatisation, permettant une transmission bidirectionnelle de données entre les services publics et les consommateurs, y compris des groupes tels que les producteurs d'énergie renouvelable, les propriétaires immobiliers et les utilisateurs de VE. Cette infrastructure assure une surveillance en temps réel, l'exécution de commandes adaptatives et une gestion efficace de la demande d'électricité dans l'ensemble d'un écosystème, un facteur particulièrement important pour favoriser l'intégration à grande échelle des VE.

À l'échelle mondiale, les réseaux intelligents gagnent en importance, car les administrations cherchent à moderniser des infrastructures vieillissantes et à supporter des charges énergétiques de plus en

plus dynamiques, notamment celles liées aux VE. D'ici 2030, 80 % des foyers dans le monde devraient être munis d'un compteur intelligent, un appareil numérique qui enregistre la consommation d'électricité en temps réel et communique avec les services publics.

Compteurs avancés et analytique prédictive

Les systèmes de compteurs avancés, lorsqu'ils sont intégrés à des dépôts de données centralisés, peuvent permettre de réaliser des analyses prédictives essentielles à la planification à long terme du réseau électrique. En analysant les habitudes de consommation, les services publics peuvent dégager des tendances dans l'adoption des VE, en prévoir les effets localisés et intervenir de manière ciblée avant que des goulots d'étranglement ne surviennent.

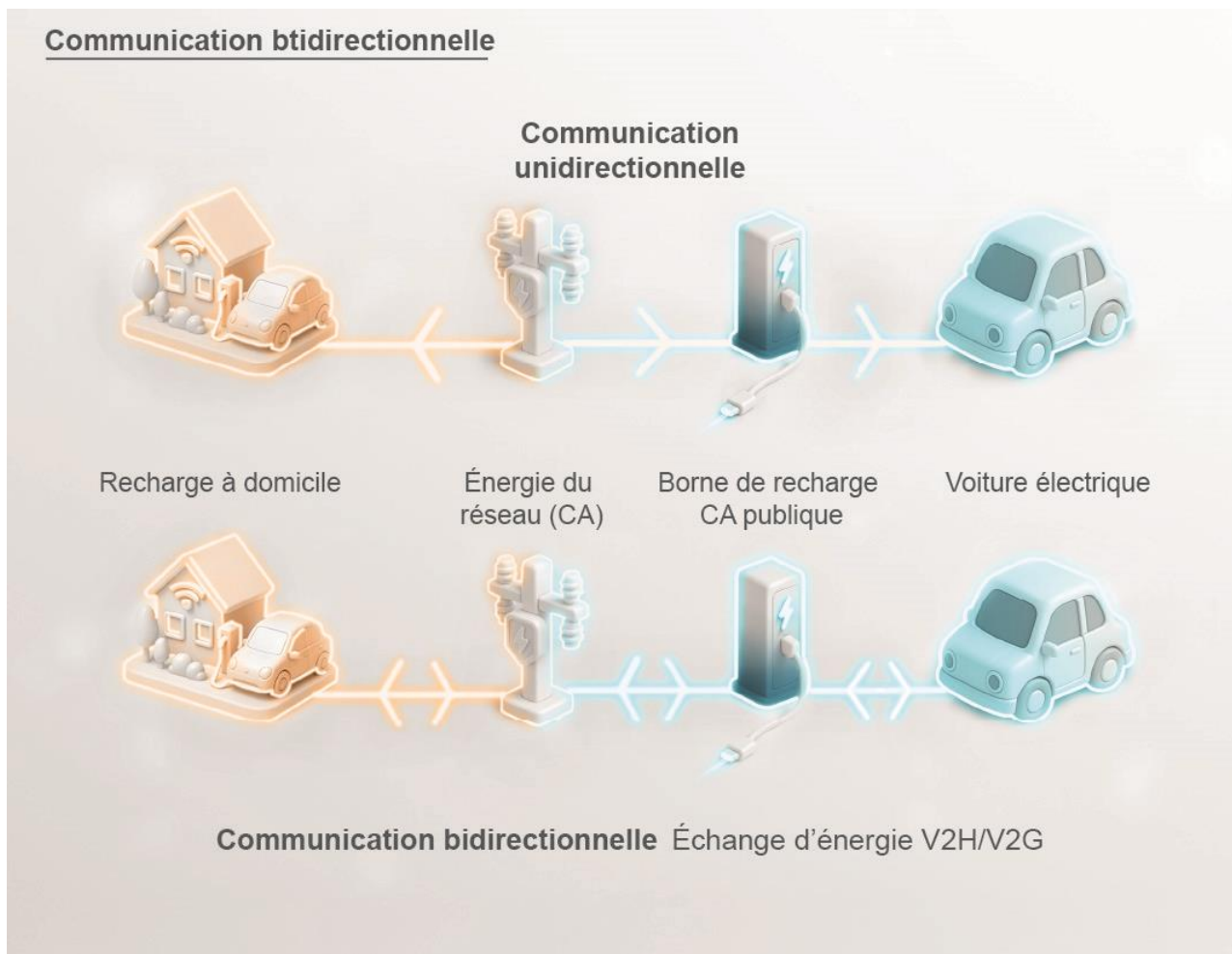


Utilisation de la communication bidirectionnelle et de l'IA pour équilibrer les charges

La communication bidirectionnelle au sein du réseau électrique permet à des appareils tels que les chargeurs de VE de consommer de l'électricité tout en répondant aux signaux du réseau, par exemple, des demandes d'arrêter ou de reporter la recharge pendant les périodes de forte demande. Jumelés à des technologies telles que l'IA, ces systèmes peuvent prévoir les pics de consommation, optimiser la distribution d'énergie et équilibrer l'offre et la demande en temps réel.

Outils numériques et plateformes logicielles

Afin de gérer efficacement les VE comme ressources du réseau, les services publics et les fournisseurs de services déploient de plus en plus de plateformes logicielles avancées appelées SGRED. Ces outils regroupent et contrôlent diverses ressources décentralisées, notamment les VE, les batteries et les systèmes solaires installés sur les toits, en les traitant essentiellement comme des actifs flexibles à répartir. Intégrés à l'exploitation du réseau ou aux marchés de l'électricité, ces systèmes regroupés fonctionnent comme des CV, capables de fournir des services similaires à ceux d'une centrale classique. À l'échelle mondiale, les CV gagnent rapidement en popularité en tant que moyen de stabiliser les réseaux et de réduire les émissions.



Stockage à la demande

Grâce aux modèles SaaS, il est possible d'offrir le stockage par batterie en tant que service public flexible plutôt que comme un actif fixe appartenant au client. Via des ententes SaaS, les fournisseurs tiers peuvent installer et exploiter des batteries que les services publics ou les propriétaires d'immeubles peuvent « louer » pour gérer la demande en périodes de pointe ou prendre en charge la recharge des VE. Une avenue en pleine expansion dans le cadre de ce modèle est la réutilisation des batteries de VE, qui conservent généralement environ 70 à 80 % de leur capacité après la mise hors service du véhicule et peuvent remplir des fonctions secondaires, notamment dans des systèmes fixes.

2.2 Ressources énergétiques décentralisées et stockage favorisant l'intégration des VE

On voit de plus en plus de VE sur les routes, de sorte que la pression sur le réseau devrait augmenter, en particulier pendant les heures de pointe, quand de nombreux conducteurs et autres gros consommateurs d'électricité se branchent simultanément. Cela a incité les administrations à trouver des solutions innovantes, telles que les ressources énergétiques décentralisées (RED) et le stockage d'énergie, afin d'éviter que l'adoption de VE, qui suit une tendance croissante, ne se heurte pas à des obstacles systémiques à cause du réseau électrique.

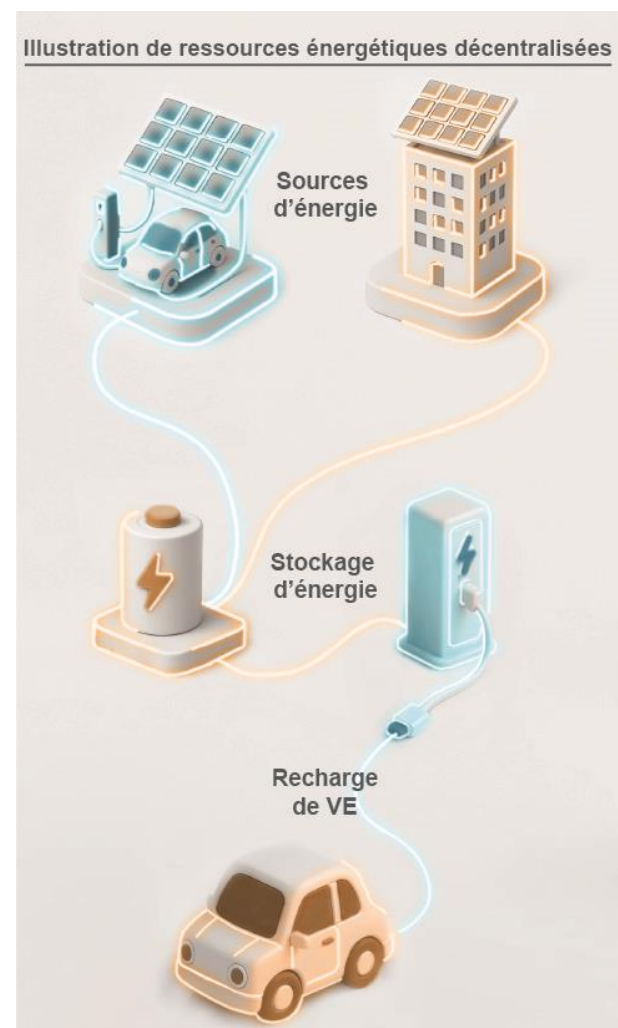
RED et production derrière le compteur

Les RED, notamment les panneaux solaires installés sur les toits, les petites éoliennes, les batteries

derrière le compteur (BTM) et les microréseaux communautaires, fournissent une énergie localisée qui peut recharger directement des VE tout en réduisant la pression sur le réseau électrique global. Associés à des technologies logicielles et de stockage intelligentes, ces systèmes peuvent modifier, réduire et même inverser le flux d'électricité, afin qu'en plus de consommer de l'électricité, les VE puissent contribuer à la résilience du réseau. À l'échelle mondiale, l'énergie solaire BTM est aujourd'hui la source d'énergie renouvelable qui connaît la croissance la plus rapide. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) prévoit que l'énergie solaire à elle seule représentera environ 80 % de la croissance de l'ensemble des énergies renouvelables entre 2024 et 2030.

Systèmes de stockage d'énergie par batterie

Un système de stockage d'énergie par batterie (SSEB) est un système fixe de batteries qui emmagasine l'électricité en vue d'une utilisation ultérieure et dont on peut se servir pour équilibrer les charges du réseau lors de la recharge de VE. Les SSEB connectés au réseau mettent l'électricité en réserve lorsque la demande ou les prix sont bas et la restituent quand le système est très sollicité, offrant ainsi la flexibilité que requiert un système de transport où prédominent les VE. Selon les experts, les SSEB peuvent jouer un rôle important dans la mise en œuvre de solutions d'énergies renouvelables. Les experts soulignent que des solutions telles que les SSEB peuvent contribuer à stabiliser la demande exercée sur le réseau, en précisant qu'un réseau dont la demande n'est pas gérée peut nécessiter d'importantes dépenses en capital



au titre d'infrastructures, qui auraient autrement pu être évitées.

2.3 Microréseaux et systèmes communautaires

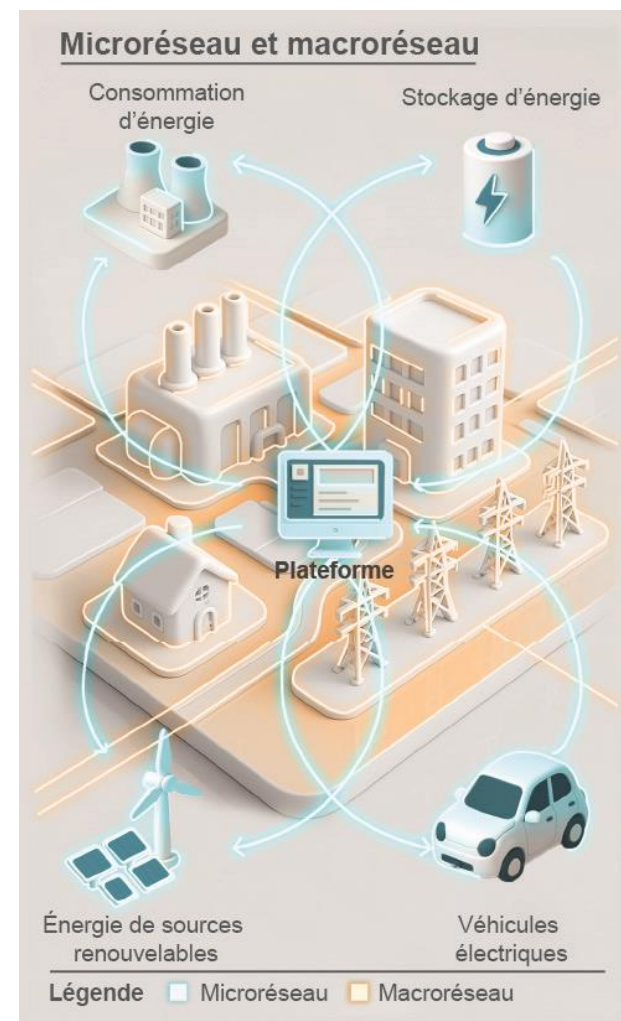
Un microréseau est un système énergétique local qui peut fonctionner seul ou en coordination avec le réseau principal. Il comprend souvent des ressources énergétiques décentralisées (RED), des batteries et des commandes intelligentes, et peut être considéré comme un regroupement de charges électriques. Les RED peuvent « s'isoler » du réseau principal et fonctionner de manière indépendante, en particulier lors de pannes généralisées du réseau ou de catastrophes naturelles. Les microréseaux et les VE interagissent grâce à un flux d'énergie bidirectionnel; les VE se rechargent via le réseau quand l'électricité, en particulier celle issue de sources renouvelables, est disponible, et peuvent restituer de l'énergie en périodes de pointe. Les experts mentionnent que cet échange, géré par des systèmes intelligents, équilibre l'offre et la demande, renforce la résilience et favorise l'utilisation d'énergies propres. Les microréseaux peuvent gérer l'énergie sans interagir avec le réseau ni le perturber, ce qui présente l'avantage de ne pas surcharger le réseau pendant les heures de pointe. De plus, ces technologies nécessitent des investissements financiers beaucoup moins importants que ceux dont l'infrastructure du réseau aurait besoin pour répondre à la demande.

2.4 Stratégies de gestion et d'optimisation de la charge

Avec l'accélération de l'adoption des VE, le moment et l'intensité des activités de recharge sont des facteurs essentiels dans la planification du réseau. Sans intervention, les regroupements de VE en recharge pendant les heures de pointe en soirée pourraient surcharger les transformateurs locaux et accroître le besoin d'investir des sommes importantes pour moderniser l'infrastructure. Les stratégies de gestion et d'optimisation de la charge visent à remédier à ce problème, en déterminant comment, quand, voire dans quel sens l'électricité circule entre les véhicules et le réseau.

Stratégies de tarification

La tarification FHC est une méthode bien établie pour influencer le comportement des consommateurs. Elle reflète le coût réel de la fourniture d'électricité tout au long de la journée, encourageant ainsi les gens à déplacer leur consommation aux heures où le réseau est moins sollicité. En revanche, avec la tarification NTB, les tarifs sont beaucoup plus bas pendant certaines heures de la nuit afin d'encourager la consommation d'électricité lorsque la demande globale est la plus faible. Selon les tarifs FHC et NTB, cette dernière catégorie de tarifs peut souvent s'avérer plus rentable pour les clients qui consomment plus d'électricité la nuit, comme les travailleurs de quarts ou ceux qui optent pour la recharge nocturne.



Gestion de la recharge

Si la tarification peut servir en général à orienter les comportements, la gestion de la recharge permet aux services publics et aux exploitants d'ajuster activement les tarifs ou horaires de recharge des VE en temps réel. Les experts soulignent que cela peut contribuer à atténuer les pointes, à stabiliser la tension et à jumeler la recharge aux sources d'énergies renouvelables disponibles.

Échange d'énergie de véhicule à X (V2X) et recharge bidirectionnelle

La gestion de la recharge unidirectionnelle fait maintenant place au domaine émergent des technologies V2X. Ces systèmes permettent aux VE de restituer de l'électricité à différentes fins, offrant ainsi flexibilité, résilience et sources potentielles de revenus. Les experts ont souligné l'intérêt de ces technologies pour réduire les coûts d'infrastructure du réseau, soutenir les SDL et les sociétés de transport, offrir une souplesse au réseau et fournir d'autres occasions de tirer parti de la production d'énergie renouvelable, dont l'énergie solaire.

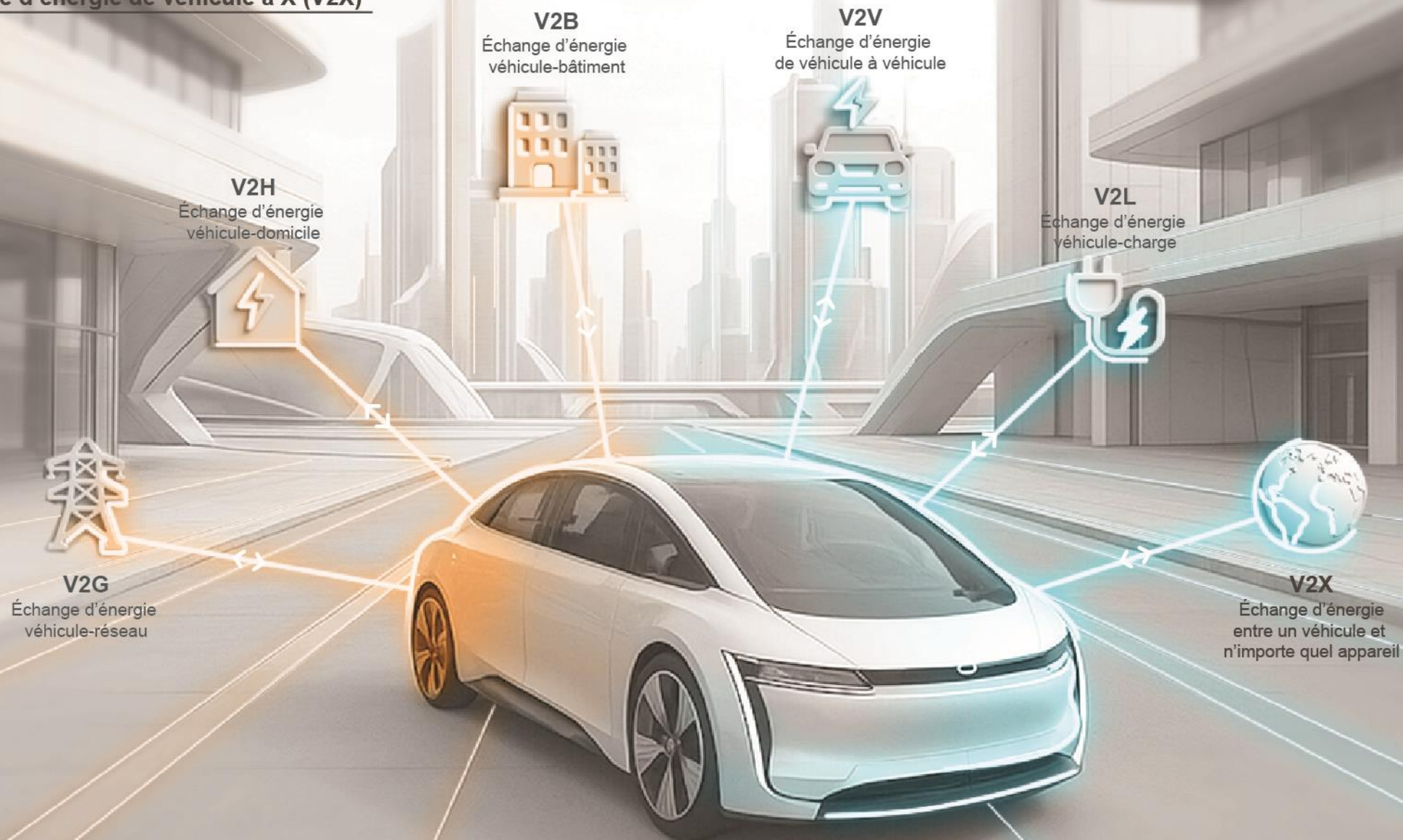
L'échange d'énergie V2X comprend de nombreuses sous-catégories :

- **Échange d'énergie véhicule-réseau (V2G) :**
permet aux VE de restituer l'énergie emmagasinée au réseau quand la demande est forte.
- **Échange d'énergie véhicule-bâtiment (V2B) :**
les VE garés peuvent fournir de l'énergie à un bâtiment en périodes de pointe ou lors de pannes. Le système s'assure que la charge du véhicule est suffisante pour répondre aux besoins du conducteur en fin de journée.
- **Échange d'énergie véhicule-domicile (V2H) :**
s'apparentant à l'échange d'énergie V2B, mais à plus petite échelle, ce système permet à un VE d'alimenter un domicile, le plus souvent pendant une panne, en faisant office de génératrice d'appoint.
- **Échange d'énergie de véhicule à véhicule (V2V) :**
permet à un VE d'alimenter directement un autre véhicule (voiture, camion, autobus, cyclomoteur ou vélo électrique).
- **Échange d'énergie véhicule-charge (V2L) :**
permet à un VE doté de prises de courant et d'un onduleur d'alimenter des outils électriques, des appareils et d'autres dispositifs enfichables en le transformant en source d'alimentation mobile.

« Pour répondre à la demande croissante en énergie, nous collaborons avec différentes collectivités pour planifier et bâtir notre avenir. Nous voulons ainsi produire davantage d'électricité fiable et abordable pour nos familles, aujourd'hui comme demain. »

– Stephen Lecce, ministre de l'Énergie et des Mines

Vers l'échange d'énergie de véhicule à X (V2X)



2.5 Avantages économiques et sociaux du développement de l'infrastructure de recharge pour VE

Il est primordial de développer l'infrastructure de recharge pour VE pour accroître l'adoption de ces véhicules et bénéficier des différents avantages environnementaux et sociaux qui en découlent, tels que la réduction des émissions, une amélioration de la santé et de la sécurité par rapport aux stations d'essence classiques et l'optimisation de l'espace. La recharge de VE favorise un mode de transport plus durable, qui produit moins d'émissions et est moins polluant, surtout dans les endroits où le bouquet énergétique du réseau privilégie les énergies renouvelables. De plus, avec les bornes de recharge pour VE, il n'est pas nécessaire d'installer des réservoirs souterrains ni de manipuler des matières dangereuses, ce qui présente des avantages importants tant pour l'environnement qu'au chapitre de la santé et de la sécurité.

Selon leur taille et leur portée, les bornes de recharge pour VE peuvent aussi nécessiter moins d'espace par véhicule que les stations d'essence classiques. Il est souvent plus facile d'intégrer les bornes de recharge aux infrastructures existantes, par exemple, aux stationnements et structures en place; sans compter qu'il est possible de recharger les véhicules à l'aide de prise de courant de 12 volts de série. Comme on le fait avec les stations d'essence, il faut soigneusement planifier l'installation des bornes de recharge, pour éviter de nuire aux habitats et de perturber les écosystèmes.

Réglementation de l'équité et de l'accessibilité

L'adoption des VE poursuit sa croissance dans les administrations de la planète, de sorte qu'une infrastructure de recharge sûre, fiable, accessible et abordable est plus que jamais nécessaire. Différents pays et villes ont adopté diverses stratégies de déploiement de bornes de recharge publiques en fonction de facteurs tels que la répartition de la population, l'accès à la recharge à domicile et l'état des réseaux routiers. Le thème du déploiement équitable de l'infrastructure de recharge des VE est important; il est donc primordial d'examiner comment des investissements à long terme peuvent favoriser une égalité d'accès tout en tenant compte des besoins diversifiés et de soutenir les communautés sous-représentées.

Pour assurer l'équité, il faut également privilégier une conception universelle, une approche reconnue pour créer des environnements accessibles que toutes les personnes peuvent et utiliser, peu importe leurs âge, taille, capacité ou handicap, car de nombreuses bornes de recharge pour VE n'ont pas été conçues en tenant compte de ces principes. Ce faisant, divers besoins ont été pris en compte, y compris la transparence des tarifs et la convivialité des systèmes.

Planification communautaire et efforts de mobilisation

Selon l'initiative, le développement de l'infrastructure de recharge pour VE peut profiter aux communautés de manière délibérée et mûrement réfléchie. La planification de l'infrastructure pour VE peut être effectuée au niveau du corridor, pour faciliter les déplacements interrégionaux, au niveau du site, en mettant l'accent sur des endroits préétablis et enfin, à l'échelle de la communauté, pour répondre aux différents besoins d'une région ou municipalité. La planification communautaire implique la participation d'intervenants, dans le but de comprendre les besoins locaux et de tenir compte de différents points de vue lors du processus de planification. Il est ainsi possible de favoriser une réflexion sur l'avenir intégrant des facteurs propres aux régions envisagées. Cette approche présente divers avantages, car elle vise à créer une expérience utilisateur unifiée, à réduire le plus possible les obstacles à l'accès, à accroître la fiabilité et à diminuer le risque d'abandon d'actifs. La prise de décisions à l'échelle communautaire peut également permettre aux membres de la communauté d'avoir voix au chapitre dans leur localité et de tenir compte des moyens d'atténuer des problèmes courants, comme l'accès inéquitable et une augmentation non souhaitée du trafic.

Adaptation de la main-d'œuvre

Le passage au transport à plus faible émission de carbone va de pair avec de nouveaux emplois et compétences dans les secteurs tels que la fabrication de VE et de pièces pour VE ainsi que l'entretien et la réparation des VE. De nouvelles possibilités d'emploi sont également créées par le développement de l'infrastructure de recharge des VE. Il peut s'agir de postes en construction, électricité, génie, planification et gestion, puisqu'il faut des conducteurs d'équipement, des électriciens, des techniciens en réparation, des ingénieurs électriciens, civils et de structures, des arpenteurs-géomètres, des rédacteurs de devis, des directeurs de la construction et des responsables de l'acquisition de lieux pour mettre en œuvre et exploiter l'infrastructure de recharge de VE. À cet effet, on estime que le Canada aura besoin d'environ 3 500 postes à temps plein pour répondre aux besoins prévus du secteur de la recharge de VE, car la demande de main-d'œuvre devrait y augmenter rapidement. Une croissance de l'emploi devrait aussi être observée dans le domaine de l'assemblage final en raison de la production intérieure.

2.6 Principaux défis

Capacité et utilisation du réseau

Les réseaux électriques sont généralement conçus pour répondre à la demande en période de pointe, par exemple pendant les chaudes journées d'été, de sorte qu'une grande partie de leur capacité est inutilisée pendant les périodes creuses. Cette utilisation moyenne, aussi appelée facteur d'utilisation, indique à

quel point l'utilisation du réseau est efficace.

L'électrification se poursuit, grâce aux efforts de transition aux VE et pompes à chaleur, de sorte qu'une demande non gérée pourrait empirer les périodes de pointe et mettre la capacité à rude épreuve. Heureusement, avec une planification intelligente, il est possible de transférer de nouvelles charges aux périodes creuses, pour ainsi améliorer l'efficacité du réseau.

De nombreuses régions doivent composer avec une faible utilisation et une augmentation des pointes de demande. Le fait de ne pas contrôler la gestion de la recharge de VE peut ainsi engendrer une hausse de la demande en soirée, nécessitant des mises à niveau coûteuses, alors qu'une capacité est disponible la nuit. Pour y remédier, les services publics et les décideurs adoptent des outils afin de gérer la demande, comme la tarification FHC et la recharge intelligente dans le but d'aplanir la courbe de charge.

Contraintes liées aux chaînes d'approvisionnement

L'essor de l'électrification à l'échelle mondiale ainsi que les perturbations engendrées par la pandémie ont exercé des pressions sur les chaînes d'approvisionnement de composants essentiels au réseau. La demande de transformateurs, d'appareillages de commutation et de bornes de recharge haute puissance est forte tandis que l'offre en la matière est faible. Ces composants sont indispensables. Les pénuries et retards dans l'approvisionnement de ce matériel ralentissent le développement du réseau et les projets d'électrification partout dans le monde. À l'échelle internationale, les services publics et promoteurs font état de retards dans la livraison

des équipements. Les délais de production des nouveaux appareils ont explosé. En guise d'exemple, le délai de livraison des gros transformateurs de haute tension est désormais de trois à cinq ans et leur prix a pratiquement doublé depuis 2018. De même, les commandes d'appareillages de commutation s'accumulent; si les délais de production s'améliorent, ils sont néanmoins plus longs qu'avant la pandémie de COVID-19, et ont des répercussions sur les services publics et les projets. Même le matériel de recharge de VE est touché : les délais de production de certaines bornes de recharge haute puissance se sont allongés, passant d'environ huit semaines à plus de trente semaines à cause de la pénurie de semi-conducteurs et la forte demande.

Risques sur le plan de la cybersécurité

Au fil de l'innovation, de l'intégration et de la numérisation des technologies du réseau, la cybersécurité demeure en tête des préoccupations de l'industrie. Le réseau nord-américain moderne qui couvre le continent est composé de différentes technologies et confie à divers organismes le mandat d'assurer un approvisionnement sûr et fiable en électricité. Les perturbations du réseau peuvent avoir de graves répercussions sur la sécurité publique, la sécurité nationale et l'économie. Les cybermenaces mondiales ont été beaucoup plus nombreuses au cours de la dernière décennie. Ces activités ciblent généralement les sociétés de distribution locales et les entreprises du réseau de production-transport, dans le but de perturber le réseau, dans son ensemble. Les experts ajoutent qu'il est aussi important de protéger les systèmes intelligents contre les cybermenaces

et les attaques. Maintenant que l'écosystème de recharge de VE gagne en intelligence et devient plus intégré, il est essentiel de tenir compte de la cybersécurité à plusieurs points, pas seulement au sein du réseau. Enfin, des défis liés à la confidentialité des données existent en l'absence de règles claires régissant les données produites par l'infrastructure de réseau intelligent et de recharge de VE. Les organisations du secteur se doivent donc d'investir en cybersécurité afin que celui-ci puisse continuer de tirer profit des technologies améliorées et émergentes.

Délais des projets d'interconnexion

Le raccordement au réseau de nouvelles sources d'électricité ou de nouvelles charges importantes, aussi appelé interconnexion, est un processus complexe, qui prend du temps. Il implique la réalisation d'études d'impact, l'obtention d'approbations réglementaires et souvent, la construction de lignes ou des mises à niveau pour que l'énergie puisse circuler. Même si les projets de production d'électricité ou les sites de recharge de VE sont prêts à être mis en service, leur raccordement au réseau peut prendre des années. Les délais très longs en matière d'interconnexion sont un problème très connu dans la foulée de l'accélération de la transition énergétique. En moyenne, une nouvelle centrale qui présente une demande d'interconnexion en Amérique du Nord doit

patienter environ cinq ans avant d'être exploitée à des fins commerciales.

Confiance des consommateurs

La voie vers l'adoption des VE n'est pas un long fleuve tranquille, car la difficulté à gagner la confiance des consommateurs dans un marché en évolution continue d'influencer la transition à l'échelle de l'écosystème des VE. L'autonomie et la recharge demeurent les principales préoccupations des consommateurs du monde entier. Dans sa dernière enquête annuelle mondiale sur la mobilité auprès des consommateurs, McKinsey donne des précisions sur ces enjeux, et mentionne que le facteur le plus important est une plus longue autonomie. De nombreux acheteurs potentiels demeurent préoccupés à l'idée de faire des trajets qui s'écartent de leurs déplacements quotidiens habituels, y compris de longs voyages en voiture. Les facteurs qui arrivent respectivement en troisième et quatrième positions sont la disponibilité des bornes de recharge et l'accès à la recharge rapide. Les acheteurs potentiels souhaitent une expérience aussi pratique que de faire le plein dans une station d'essence, mais accordent plus d'importance à l'autonomie qu'à la durée de recharge. La plupart des personnes qui envisagent l'achat d'un VE conviennent que 30 minutes pour recharger entièrement un véhicule est assez, ce qu'on peut couramment faire avec des bornes de niveau 3. Parmi les autres obstacles, citons la perception des

consommateurs selon laquelle ils devront recharger souvent leur véhicule durant la journée, ce qui n'est pas nécessaire la plupart du temps. Les consommateurs disent aussi éprouver des problèmes de paiement, y compris des lecteurs de carte de crédit défaillants et une mauvaise connectivité de réseau qui nuisent au traitement, un trop grand nombre de modes de paiement et des interfaces exclusives qui ajoutent à la confusion des utilisateurs et des lecteurs de carte qui fonctionnent mal parce qu'ils sont exposés aux intempéries. La fonction de paiement peut aussi nuire à l'équité, puisque la hauteur et l'angle d'un lecteur de cartes peuvent créer des problèmes d'accessibilité. Les experts soulignent que l'itinérance gagne du terrain dans le secteur des VE au sein de régions, dont l'Europe; celle-ci permet aux conducteurs de VE d'utiliser facilement n'importe quelle borne de recharge publique, peu importe l'opérateur du réseau de recharge.

Il est possible de regagner une bonne partie de la confiance des consommateurs en leur communiquant plus d'informations, mais aussi en veillant à mettre en place une infrastructure appropriée et à la normaliser.

3 Contexte réglementaire de l'infrastructure: de recharge pour VE

Comme les administrations s'engagent de plus en plus à éliminer progressivement les véhicules dotés d'un moteur à combustion interne (MCI), l'attention se tourne désormais sur l'état de préparation des réseaux électriques et des cadres réglementaires qui les régissent. Le respect des objectifs d'adoption de VE ne repose plus simplement sur l'offre de véhicules; il est aussi tributaire de la capacité, de la flexibilité et de la résilience du réseau électrique. Partout dans le monde, des administrations adoptent des politiques qui, en plus d'accroître l'accès aux bornes de recharge publiques, répondent à des objectifs de fiabilité, d'accessibilité, d'interopérabilité et d'intégration avec l'ensemble des systèmes d'énergie. Les thèmes qui ressortent souvent sont la nécessité de tenir compte des éléments suivants : normalisation, tarifs transparents, compatibilité avec le réseau intelligent et accès inclusif. Ensemble, ces efforts réglementaires jettent les bases d'un écosystème de VE mondial à la fois vaste, équitable, efficace et prêt pour l'avenir. Ce chapitre examine d'abord le contexte réglementaire mondial, avant de passer à celui du Canada.





3.1 Contexte réglementaire mondial

Cette section présente un aperçu des principales approches réglementaires en place dans les grands marchés tels que les États-Unis, l'UE, le Royaume-Uni et la Chine, et montre comment l'infrastructure pour VE développée par chacun d'eux sous-tend d'ambitieux objectifs de décarbonation et d'électrification.

États-Unis

Les États-Unis ont mis en place un cadre de financement et d'ordre réglementaire complet pour la recharge pour VE, essentiellement au moyen de normes et d'exigences relatives à l'infrastructure des véhicules électriques (NEVI) et d'autres programmes fédéraux connexes. Depuis février 2024, les normes NEVI prévoient des exigences réglementaires de base unifiées qui s'appliquent à toutes les bornes de recharge publiques financées par des programmes fédéraux. Ces normes visent tous les États, le district

de Columbia et Porto Rico et ont pour but d'assurer une expérience utilisateur uniforme et de grande qualité dans tout le pays.

Le NEVI Formula Program versera 5 milliards de dollars sur cinq ans (2022-2026) aux États pour les aider à déployer une infrastructure de recharge de VE le long de divers corridors pour l'approvisionnement en carburants de remplacement (Alternative Fuel Corridors ou AFC). Ce financement vise la création d'un réseau national cohérent qui soutient les longs déplacements en VE et la planification d'infrastructures fondée sur les données. Le programme de subventions discrétionnaires pour l'infrastructure de recharge et de ravitaillement (CFI) complète l'initiative NEVI en offrant une somme additionnelle de 2,5 milliards de dollars aux projets de recharge de VE dans les régions urbaines et rurales, y compris le long des AFC. Ensemble, ces programmes représentent un investissement sans précédent du gouvernement fédéral dans l'infrastructure de VE. L'initiative NEVI fait partie d'une vaste stratégie fédérale de modernisation du transport et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Toutefois, sa mise en œuvre a été ralentie en raison de défis d'ordre politique et administratif. Ainsi, le financement de l'initiative NEVI et des programmes connexes a été reporté et soumis à des examens en vertu du décret présidentiel Unleashing American Energy, qui a suspendu temporairement

le versement de certains fonds et s'est traduit par un nouveau contrôle des dépenses dans le secteur de l'énergie.

Union européenne

L'UE a adopté un cadre réglementaire robuste et exécutoire pour accélérer le déploiement de son infrastructure pour carburants de remplacement, qui porte expressément sur la recharge de VE. Ce cadre s'appuie sur le Règlement sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs (AFIR), entré en vigueur le 13 avril 2024. L'AFIR est un élément clé d'une vaste stratégie de l'UE visant à réduire de 55 % les émissions nettes de gaz à effet de serre d'ici 2030, dans le cadre du pacte vert pour l'Europe. L'AFIR fixe des objectifs contraignants en matière de déploiement et des normes techniques pour l'infrastructure de recharge et de ravitaillement publique qui s'appliquent à tous les États membres de l'UE. Il vise aussi à éliminer l'angoisse de la panne, à assurer l'interopérabilité et à offrir une expérience utilisateur transfrontalière homogène.

En vertu de l'AFIR, l'UE impose des objectifs en matière de déploiement afin que le développement de l'infrastructure pour VE suive la croissance des véhicules à émission zéro sur les routes. Dans le cas des VE à passagers, chaque État membre doit mettre en place des stations de recharge ouvertes au public capables de fournir une puissance de sortie totale

d'au moins 1,3 kW par VE à batterie immatriculé. Ainsi, les stations de recharge sont déployées de manière proportionnelle à l'adoption de VE. Pour faciliter les longs trajets, des stations de recharge dotées de bornes d'une puissance de sortie individuelle d'au moins 150 kW doivent être déployées tous les 60 km le long du réseau routier central du RTE-T dès 2025. En ce qui concerne les VE lourds, le règlement exige que des stations de recharge dotées de bornes d'une puissance de sortie individuelle d'au moins 350 kW soient déployées tous les 60 kilomètres le long du réseau routier central du RTE-T et tous les 100 kilomètres le long du réseau routier global du RTE-T d'ici la fin de 2030.

L'AFIR accorde la priorité à la création d'une expérience homogène et conviviale pour les conducteurs de VE dans l'ensemble de l'UE. L'une de ses principales exigences est la transparence des prix, y compris la possibilité pour les utilisateurs de consulter des informations en temps réel sur les prix qui sont claires et uniformes. Pour simplifier l'accès, toutes les stations de recharge doivent prendre en charge les modes de paiement ad hoc par cartes de crédit ou de débit, afin que les utilisateurs n'aient pas à s'abonner ou à installer des applications exclusives. Le règlement impose aussi des normes d'interopérabilité, y compris la prise en charge par l'infrastructure des protocoles normalisés de communication et une capacité d'itinérance transfrontalière obligatoire. De plus, les exploitants doivent fournir des informations en temps réel sur la disponibilité des points de recharge, leur localisation

et le prix via des moyens électroniques, pour que les utilisateurs disposent de toutes les informations nécessaires à la planification de leurs trajets.

Royaume-Uni

Le Royaume-Uni a pris des mesures importantes pour normaliser et améliorer l'expérience de recharge publique de VE en adoptant un règlement sur les bornes de recharge publiques (*Public Charge Point Regulations 2023* ou PCPR), qui est entré en vigueur le 24 novembre 2023. Ce règlement vise à faire en sorte que l'infrastructure de recharge publique soit fiable, accessible et conviviale, dans le but de soutenir la transition du Royaume-Uni au transport à émission zéro. Il impose plusieurs exigences aux exploitants de bornes de recharge accessibles au public, dont les suivantes :

- Fiabilité : taux de fiabilité de 99 % à toutes les bornes de recharge rapide, en vue du fonctionnement continu de l'infrastructure de recharge ultrarapide.
- Paiement sans contact : toutes les nouvelles bornes de recharge d'une puissance nominale d'au moins 8 kW doivent prendre en charge le paiement sans contact par carte de crédit ou débit, afin que les utilisateurs n'aient pas besoin d'installer des applications exclusives ou de s'abonner.

- Itinérance : les exploitants doivent autoriser le paiement par l'intermédiaire d'au moins un tiers fournisseur de services d'itinérance, pour que les utilisateurs puissent accéder à plusieurs réseaux à partir du même compte.
- Assistance téléphonique en tout temps : les utilisateurs qui ont besoin d'aide pour régler des problèmes aux bornes de recharge publiques doivent avoir accès 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 à un service d'assistance téléphonique assuré par du personnel.
- Partage de données ouvertes : les exploitants sont tenus de partager des données en temps réel au moyen du protocole OCPI, y compris sur la disponibilité des points de recharge, leur localisation et le prix.
- Prix transparents : tous les prix doivent être affichés clairement en pence par kWh, afin que les utilisateurs puissent comparer les coûts d'un réseau à l'autre.

Ces mesures visent à renforcer la confiance des consommateurs dans le réseau de recharge public, notamment chez ceux qui n'ont pas accès à la recharge à domicile ou parcourent de longues distances.

En parallèle à ces moyens réglementaires, le gouvernement du Royaume-Uni, par l'intermédiaire de l'Office des véhicules à émission zéro du Royaume-Uni (OZEV), offre un éventail de programmes incitatifs pour accélérer le déploiement de l'infrastructure de recharge pour VE. Citons en exemple les programmes EV Chargepoint Grant et Workplace Charging Scheme, qui fournissent du

soutien financier pour l'installation de bornes de recharge à domicile et dans les établissements commerciaux. Ces initiatives visent à compléter l'infrastructure publique, en stimulant les investissements privés et en favorisant l'accès à la recharge dans différents environnements. Ensemble, le PCPR et les programmes incitatifs de l'OZEV forment un cadre complet qui fixe des normes élevées contraignantes en matière d'infrastructure publique tout en soutenant l'adoption à grande échelle des VE au Royaume-Uni.

Chine

La Chine fait progresser rapidement son écosystème de VE, grâce, entre autres, au déploiement généralisé de son infrastructure de recharge et à l'intégration des VE dans l'ensemble du système énergétique. Chapeauté par la Commission nationale du développement et de la réforme et d'autres organismes clés de la République populaire de Chine, le cadre réglementaire du pays repose sur une vision stratégique destinée à positionner les VE à la fois comme des ressources de transport et des ressources énergétiques flexibles.

L'approche réglementaire de la Chine trouve son origine dans un cadre politique global qui met l'accent sur la planification systématique, le leadership en innovation et la coordination du développement. Guidé par des objectifs de développement national et des principes de directives gouvernementales, de participation au marché et de collaboration multipartite, le pays

entend mettre en place un écosystème d'interaction véhicule-réseau robuste, intelligent et sécuritaire. L'innovation est au cœur de cette stratégie, axée sur la normalisation, la sécurité et la coopération internationale.

Le cadre réglementaire de la Chine qui s'applique à la recharge de VE et à l'intégration de la technologie V2G repose sur un ensemble d'activités stratégiques axées sur la mise en place d'un écosystème énergétique robuste, intelligente et souple. L'un de ses principaux objectifs est le développement de technologies, y compris des investissements considérables dans la recherche et l'innovation. Ceux-ci visent à réaliser des progrès en matière de batteries à durée de vie élevée capables d'effectuer plus de 3 000 cycles de charge-décharge, à mettre au point de l'équipement de recharge bidirectionnelle et à aménager des bornes compatibles avec le réseau qui sont dotées de capacités de production d'énergie solaire, de stockage et de recharge.

En outre, la Chine accorde la priorité au développement de systèmes de commandes intelligents et de mesures de cybersécurité pour garantir la sécurité et l'efficacité de l'interaction véhicule-réseau. Pour appuyer cette évolution technologique, la Chine accélère les efforts de normalisation. D'ici la fin de 2025, le gouvernement entend mettre la touche finale aux principales normes régissant les protocoles de communication, la réglementation de l'énergie et la sécurité tout en adoptant un système complet de mise à l'essai et de certification d'équipements V2G.

Ces efforts sont complétés par des initiatives destinées à harmoniser les normes chinoises aux critères internationaux et ainsi renforcer la compétitivité à l'échelle mondiale. Sur le plan économique, le gouvernement met en place des tarifs d'électricité FHC pour la recharge à domicile et examine des façons de rémunérer les propriétaires de VE qui restituent de l'énergie au réseau. La participation au marché est encouragée grâce à l'implication d'agrégateurs aux programmes de gestion de la demande, aux marchés au comptant et au marché du carbone.

De plus, la Chine déploie des projets de démonstration pour valider et peaufiner ses stratégies V2G. Ces projets pilotes réalisés dans des parcs de véhicules publics et des quartiers résidentiels visent à élaborer des modèles d'affaires évolutifs ainsi que des systèmes d'assurance robustes pour les batteries. Les sociétés du réseau sont incitées à construire des centres intégrés de recharge, de stockage et de production d'énergie solaire et à élargir l'accès au réseau de distribution. Enfin, l'intégration au réseau est prioritaire, les sociétés du réseau électrique ayant le mandat d'intégrer la V2G à la gestion de la demande, à améliorer les systèmes de compteurs et de transactions, et à autoriser une participation directe au marché via les plateformes d'agrégateurs.



3.2 Contexte réglementaire au Canada

L'approche du Canada en matière d'infrastructure pour VE est modelée par ses engagements climatiques à l'échelle nationale et la nécessité de décarboner le secteur des transports, à l'origine de plus de 20 % des émissions de gaz à effet de serre du pays. Le gouvernement fédéral s'est engagé à faire en sorte que tous les véhicules légers neufs vendus soient des véhicules à émission zéro (VEZ) d'ici 2035 et que tous les véhicules moyens et lourds vendus soient des VEZ d'ici 2040, selon la faisabilité. Pour soutenir cette transition, le Canada met en place un cadre réglementaire et de financement à volets multiples pour développer l'infrastructure de recharge pour VE, gérer les impacts sur le réseau et garantir un accès équitable dans les régions. Cette expansion de l'infrastructure est renforcée par la *Loi canadienne sur la responsabilité en matière de carboneutralité* adoptée en 2021, en vertu de laquelle le Canada s'engage à atteindre la carboneutralité d'ici 2050. La loi prévoit des objectifs contraignants de réduction

des émissions tous les cinq ans ainsi que l'obligation de publier des rapports annuels sur les progrès et de les rendre publics à des fins de transparence. Les transports sont aussi un élément central de cette loi. La loi prévoit également la constitution d'un Groupe consultatif pour la carboneutralité chargé de fournir des conseils indépendants sur l'atteinte des objectifs de lutte contre les changements climatiques.

Afin d'alimenter les VE avec une électricité propre et durable, le gouvernement fédéral a publié la version définitive du *Règlement sur l'électricité propre* en décembre 2024 en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)*. À compter de 2035, ce règlement établit des limites contraignantes pour la pollution par le dioxyde de carbone provenant des unités de production d'électricité à partir de combustibles fossiles d'une capacité de 25 mégawatts ou plus. Il appuie la transition à un réseau d'électricité carboneutre d'ici 2050 en encourageant les sociétés de services publics à investir dans les technologies d'énergie renouvelable, de stockage d'énergie par batterie et de réseau intelligent. Le cadre réglementaire et politique du Canada pour l'infrastructure des VE est le fruit d'un effort coordonné à l'échelle nationale pour décarboner le secteur des transports et moderniser le réseau électrique. Ensemble, ces initiatives jettent les bases d'un écosystème de transport résilient, équitable et prêt pour l'avenir.



3.3 Initiatives en place au Canada

L'engagement du Canada à développer l'infrastructure pour VE est appuyé par un éventail d'initiatives stratégiques et de programmes de démonstration destinés à accélérer l'innovation, à améliorer l'intégration au réseau et à assurer un accès équitable à la recharge partout au pays.

Corridor binational de recharge pour VE Canada–États-Unis : en mai 2023, le gouvernement du Canada a annoncé un partenariat avec les États-Unis pour mettre en place un corridor binational de recharge pour VE. Ce corridor, qui s'étendra de Kalamazoo, au Michigan à la Ville de Québec au Québec, donnera accès à des bornes de recharge de niveau 3 installées environ à tous les 80 km. L'initiative vise à soutenir les déplacements transfrontaliers en VE, à accroître la connectivité régionale et à promouvoir la coopération

nord-américaine pour mettre en place une infrastructure de transport propre.

Programme de démonstration d’infrastructure pour les véhicules électriques (DIVE) : administré par RNCAN, le programme DIVE a bénéficié de 76 millions de dollars au titre des budgets de 2016 et 2017 pour soutenir la démonstration de technologies de recharge de VE et de ravitaillement en hydrogène de prochaine génération. Le programme vise à accélérer l’entrée sur le marché des infrastructures d’énergie propre innovantes en appuyant des projets qui portent sur les obstacles techniques et non techniques au déploiement. À ce jour, plus de 20 projets de démonstration ont été lancés dans six provinces et un territoire, dans les milieux urbains et ruraux.

Le programme a atteint tous ses principaux objectifs en réalisant des projets de démonstration dans tous les domaines prioritaires. Enfin, il s’est adapté pour répondre à l’évolution des besoins du secteur de la mobilité électrique, en veillant à ce que des projets appropriés soient sélectionnés pour remédier aux obstacles et aux lacunes.

Programme d’innovation énergétique – Réseaux électriques intelligents : programme fédéral dirigé par RNCAN qui soutient le développement et la mise à l’échelle de technologies de réseaux électriques intelligents. Le programme, qui n’accepte plus de

nouvelles propositions depuis mai 2025, finance les projets technologiques, commerciaux et réglementaires qui permettent d’éliminer les obstacles au déploiement de solutions de réseau intelligent, comme la recharge intelligente des VE, l’équilibrage des charges et la gestion de l’énergie en temps réel.

Programme Énergie propre pour les collectivités rurales et éloignées : lancé en 2018, ce programme soutient le déploiement de systèmes d’énergie renouvelable, de microréseaux et d’une infrastructure de recharge de VE dans les communautés autochtones et éloignées hors réseau. Il vise à réduire l’utilisation du diesel pour le chauffage, à améliorer la sécurité énergétique et à appuyer le développement économique local. Voici ses principaux objectifs :

- Soutenir la transition vers une énergie propre dans les régions éloignées
- Accroître la résilience et réduire la dépendance énergétique des collectivités
- Renforcer les capacités locales au moyen de formations et de l’élaboration de plans énergétiques communautaires
- Favoriser le leadership autochtone dans le développement des énergies propres

Les projets financés dans le cadre de ce programme portent souvent sur l’intégration de capacités de production

d’énergie solaire, de stockage par batterie et de bornes de recharge de VE aux microréseaux communautaires, à des fins de réduction des émissions et d’amélioration de la qualité de vie dans les régions sous-desservies. Jusqu’à maintenant, le programme, qui a bénéficié de 453 millions de dollars depuis sa mise sur pied, a soutenu plus de 190 projets à l’échelle nationale.

PIVEZ : administré par Ressources naturelles Canada (RNCAN), l’organisme fédéral responsable de surveiller la politique énergétique nationale et l’infrastructure connexe, le PIVEZ est une initiative fédérale clé qui fournit du financement pour le déploiement de bornes de recharge de VE et de stations de ravitaillement à l’hydrogène à l’étendue du Canada. Il accorde la priorité au déploiement d’infrastructure dans les lieux publics, sur les lieux de travail, dans les IRLM, sur la rue et dans les parcs de véhicules et comporte un volet de financement à l’intention des communautés et des organismes d’exécution autochtones. La contribution du programme, en vigueur jusqu’en 2027, est limitée à 50 % des coûts totaux du projet (ou 75 % dans le cas de projets dirigés par des Autochtones). Le programme s’attaque à un obstacle majeur à l’adoption des VE, à savoir l’accès limité à l’infrastructure de recharge, en soutenant le développement d’un réseau d’un bout à l’autre du pays.

4. Portrait de la recharge de VE en Ontario

Le développement d'une infrastructure de recharge pour VE en Ontario doit passer par des efforts coordonnés entre le gouvernement, l'industrie et les fournisseurs de services publics. Des initiatives de planification stratégique sont en cours pour permettre au réseau électrique de la province de répondre à la demande croissante provenant des VE. Celles-ci servent entre autres à évaluer la capacité du réseau électrique, à prévoir les besoins futurs en électricité et à explorer des solutions favorisant une intégration efficace et équitable de l'infrastructure de recharge. Comme l'adoption des VE s'accélère, il est de plus en plus important d'équilibrer l'offre et la demande d'énergie, d'assurer la fiabilité du réseau électrique et d'optimiser les habitudes de recharge. Le paysage de la recharge est façonné par un éventail diversifié d'intervenants, y compris des organismes publics, des fournisseurs d'énergie et des entreprises technologiques. La collaboration entre ces parties prenantes est essentielle pour mettre en place un réseau de recharge robuste et accessible qui répond aux besoins de tous les conducteurs, peu importe où ils habitent (milieu urbain ou rural) ou s'ils parcourent de longues distances.



4.1 Réseau d'électricité de

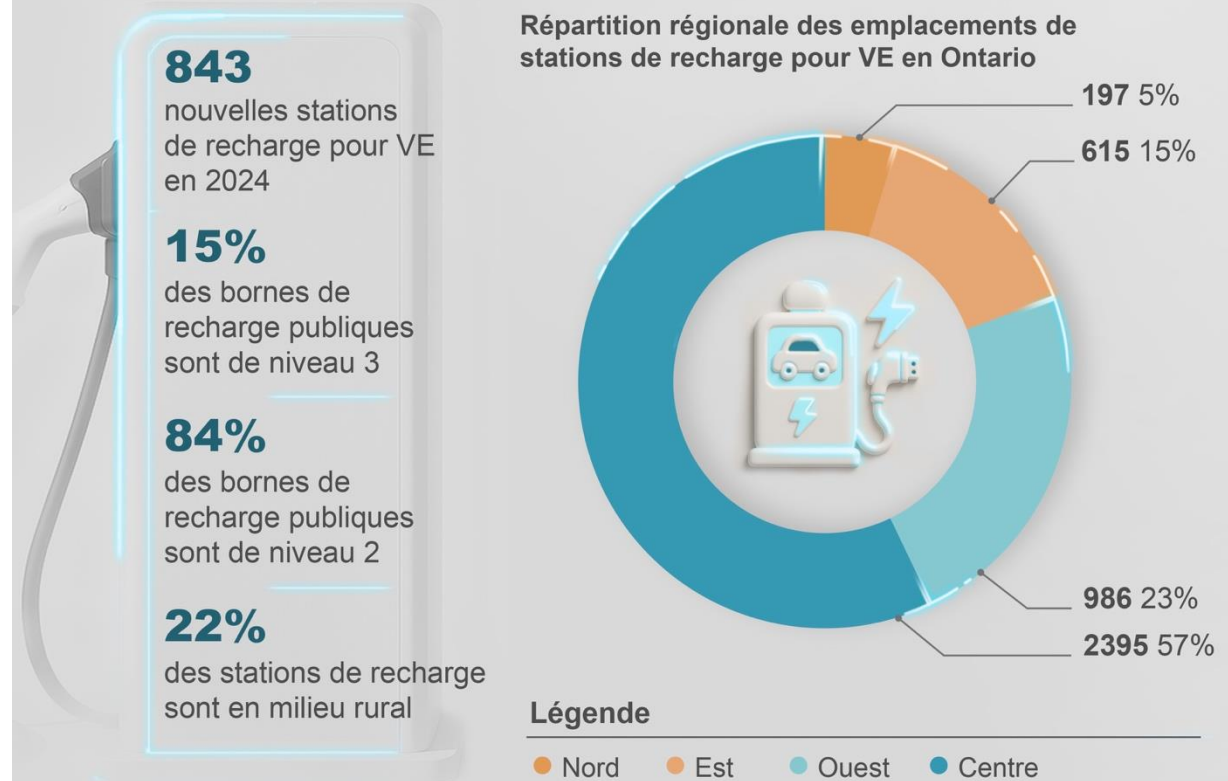
l'Ontario

Répartition équitable de l'infrastructure de recharge

La vaste majorité des bornes de recharge publiques pour VE de l'Ontario sont concentrées dans les régions à forte densité de population du Sud de la province, en particulier dans les grandes villes telles que Toronto, Ottawa, Mississauga et London et le long des autoroutes de la série 400, là où l'adoption des VE est la plus élevée. En revanche, les régions rurales et le Grand Nord comptent beaucoup moins de bornes de recharge, créant ainsi des « déserts de recharge » le long des corridors éloignés.

Selon les plus récentes données disponibles, il y a environ 4 200 emplacements de stations de recharge pour VE dans la province; on y dénombre plus de 12 000 bornes de recharge. On retrouve la moitié des stations, soit près de 78 % en milieu urbain et le reste, soit 22 %, dans les communautés rurales. Cette répartition suit une tendance qui s'apparente à celle de l'adoption des VE, la proportion de citoyens qui sont propriétaires d'un VE était beaucoup plus grande. Le réseau de recharge de l'Ontario compte principalement des bornes de recharge de niveau 2, qui représentent jusqu'à 84 % de toutes les bornes de recharge. On les utilise couramment tant pour la recharge publique qu'à domicile. Les bornes de recharge rapide de niveau 3 représentent 16 % de l'ensemble des bornes et sont réparties plus

Infrastructure de recharge de VE en Ontario



Sources: Ressources naturelles Canada (RNCan), Rural Ontario Institute (ROI), gouvernement de l'Ontario

© CIO, 2025

équitablement, 42 % de celles-ci étant installées dans les régions rurales. En juillet 2025, près de 10 % de toutes les stations de recharge publiques pour VE en Ontario étaient dotées d'au moins un connecteur qui prend en charge un échange d'énergie bidirectionnel ou V2X, moyennant le respect d'autres conditions.

Pour ce qui est répartition régionale de l'infrastructure¹⁴², la région du Centre, qui comprend Toronto, York, Peel et d'autres municipalités, arrive en tête, car on y trouve 57 % de toutes les stations de recharge. Vient ensuite la région de l'Ouest (24 %), qui comprend, entre autres, les villes de Waterloo, Windsor et Niagara. Le classement est complété par la région de l'Est (15 %), qui englobe Ottawa, Peterborough, Kingston et d'autres municipalités de palier supérieur et la région du Nord (5 %), composé notamment de Nipissing, d'Algoma et de Thunder Bay. La concentration de l'infrastructure dans le Centre de l'Ontario s'explique par une plus forte densité de population et une utilisation accrue de véhicules, mais met aussi en relief des occasions d'élargir l'accès dans le Nord et l'Est de la province.

Le déploiement des stations de recharge pour VE s'est accéléré rapidement. De quelques installations au début des années 2010, le nombre de nouvelles stations est passé à 940 en 2023. Ce nombre continue d'augmenter dans la province, avec l'ouverture de 853 nouvelles stations en 2024 et 330 de plus en 2025 (données de juillet 2025). Cette tendance à la hausse témoigne de l'approche proactive privilégiée par l'Ontario pour établir un robuste écosystème de VE.

Jusqu'à 2019, on assistait chaque année à l'ouverture de cinq stations de recharge pour VE en moyenne dans le Nord de l'Ontario. Cette moyenne a augmenté depuis, pour passer à 26 nouvelles stations de recharge pour VE par année au cours des quatre dernières années, grâce, entre autres, aux initiatives mises de l'avant par les sociétés de services publics locales et le réseau de recharge Ivy, qui ont déployé des douzaines de bornes de recharge rapide le long des corridors routiers avec l'aide d'Hydro One. Le Programme ontarien pour la recharge des VE, dont il est question dans la prochaine section, fait partie de la stratégie du gouvernement de l'Ontario pour combler ces lacunes et favoriser une répartition géographique plus équitable des stations de recharge, afin que les conducteurs de VE de toutes les régions de la province aient accès à une connectivité fiable et homogène.

Demande prévue d'électricité

Le nombre croissant de VE transformera la demande d'électricité en Ontario au cours des 10 à 25 prochaines années. Les plus récentes prévisions de planification de la Société indépendante d'exploitation du réseau d'électricité (SIERE) montrent que les nouvelles demandes exercées sur le réseau découleront dans une large mesure de l'électrification des transports. Par exemple, on peut lire dans le Rapport sur les perspectives de planification annuelle 2025 que la SIERE prévoit qu'avec la recharge de VE et l'électrification, la consommation d'électricité du secteur du transport de l'Ontario montre en flèche,

passant d'environ 3 TWh en 2026 à près de 44 TWh d'ici 2050. Il s'agit d'une augmentation de plus de 40 TWh, représentant une progression de 1 382 % ou une croissance moyenne de 11,9 % par année.

Le tableau de la page suivante compare les croissances prévues de la demande en électricité des VE en Ontario et de la demande énergétique annuelle totale exercée sur le réseau de 2026 à 2050 selon les prévisions établies par la SIERE dans son Rapport sur les perspectives de planification annuelle 2025. Les données font clairement état d'une tendance à la hausse du côté de la consommation d'électricité par les VE et de la demande globale d'énergie. En 2026, la consommation d'énergie des VE devrait totaliser 2,33 TWh, soit seulement 1,5 % de la demande globale de l'Ontario, à savoir 156,67 TWh. D'ici 2030, la demande venant des VE est appelée à tripler, pour passer à 8,11 TWh, soit 4,3 % de la demande totale. Cette progression s'accélère considérablement d'ici 2035, avec une consommation de 21,63 TWh venant des VE, ou 10,1 % de la demande de la province qui s'élève à 214,78 TWh.

La tendance se poursuit jusqu'en 2040 et 2045, la demande découlant des VE devrait atteindre 32,86 TWh et 38,93 TWh respectivement, soit 13,8 % et 15,6 % de la demande totale. En 2050, les besoins en électricité des VE devraient s'élever à 41,75 TWh, ce qui représente 15,9 % de la demande totale prévue

en Ontario, soit 262,48 TWh. La trajectoire de cette demande croissance en électricité des VE cadre avec les objectifs et les politiques d'adoption de VE de l'Ontario.

Les modèles de la SIERE tiennent compte de l'objectif obligatoire fixé par le gouvernement fédéral selon lequel 100 % des véhicules légers neufs vendus devront être des véhicules à émission zéro d'ici 2035 (y compris un objectif intermédiaire de 60 % d'ici 2030). Par conséquent, le parc de VE légers de l'Ontario devrait augmenter, pour passer de près de 400 000 véhicules en 2025 à quelque 11,5 millions en 2050. Cela fera augmenter la demande d'électricité par près de 18 % sur 25 ans, car la part de la demande venant des VE sur la demande totale passera de 1,5 % en 2025 à environ 16 % d'ici 2050.

Cette évolution ne se résume pas à une augmentation de la consommation; elle transforme en profondeur le profil de charge du réseau. À la lumière des prévisions de la SIERE, il est évident que l'état de préparation du réseau électrique deviendra l'élément le plus important pour assurer l'intégration sécuritaire et efficace des VE à l'ensemble du réseau électrique ontarien.

L'Ontario adopte une approche globale pour répondre à la croissance de la demande au chapitre de l'énergie et de l'électrification. Cette approche consiste à accroître la capacité de production d'énergie, en misant particulièrement sur des sources propres et flexibles. De plus, la province améliore ses réseaux de distribution d'électricité pour prendre en charge les

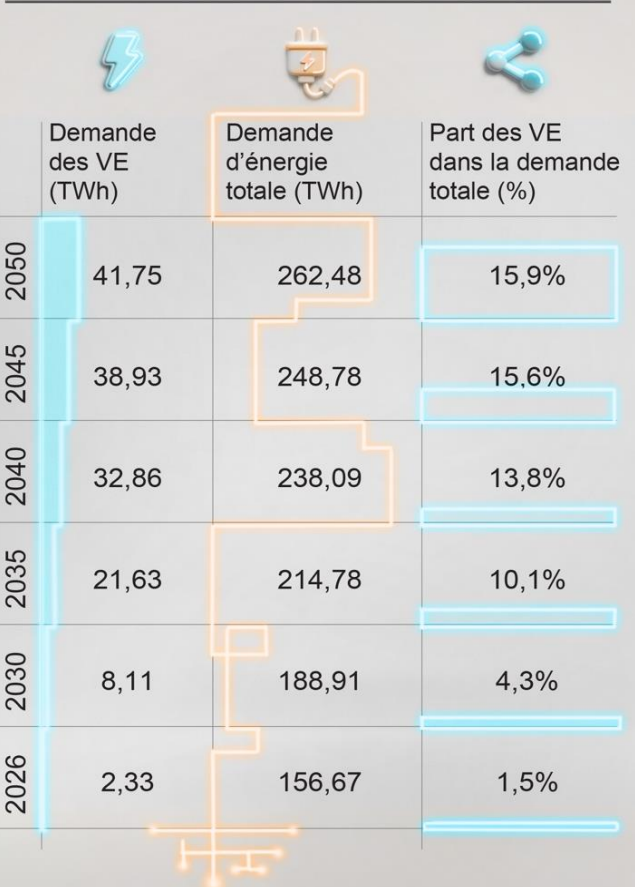
besoins accrus de recharge de VE à domicile et en milieu commercial, au moyen de stratégies adaptées aux besoins particuliers des régions urbaines et rurales. Elle procède aussi au déploiement d'une infrastructure de recharge intelligente, y compris la tarification FHC et l'intégration de la technologie V2G, pour gérer la demande en période de pointe et rendre le réseau plus efficace. Enfin, l'Ontario investit dans les programmes de stockage d'énergie par batterie et de gestion de la demande pour équilibrer la variabilité qui caractérise les sources d'énergies renouvelables et les habitudes de recharge de VE. Pour appuyer ces efforts, la province s'affaire à accroître la résilience de la chaîne d'approvisionnement en composants essentiels.

Main-d'œuvre pour l'infrastructure de recharge pour VE

La transition vers la mobilité électrique va également de pair avec la création de nouveaux emplois et compétences au sein de l'infrastructure de recharge des VE, qui ne se rapportent pas seulement aux véhicules. Représentant un vaste écosystème qui s'appuie sur un éventail de postes, des conducteurs d'équipement aux électriciens et aux techniciens en passant par les ingénieurs, les arpenteurs-géomètres, les rédacteurs de devis, les directeurs de la construction et les responsables de l'acquisition de lieux, l'infrastructure de recharge pour VE offre des débouchés uniques aux professionnels d'aujourd'hui et de demain.

Les établissements d'enseignement et autres organismes s'adaptent pour répondre à la demande de nouveaux travailleurs et de nouvelles compétences.

Part de la demande d'énergie venant des VE dans la demande totale en Ontario (2025-2050)



Source: Rapport sur les perspectives de planification annuelle de la SIERE (2024)

Le Collège George Brown propose une formation de techniciens en VE aux mécaniciens de véhicules automobiles qui souhaitent acquérir les compétences nécessaires pour travailler sur des VE et aux électriciens chargés d'installer, de réparer et d'entretenir les bornes de recharge pour VE. Le programme de formation en infrastructure de VE offert par la Section locale 353 de la Fraternité internationale des ouvriers en électricité constitue un autre exemple. Polytechnique Seneca mentionne que les diplômés de son programme de niveau avancé de trois ans en technologie du génie électrique peuvent devenir des technologues concepteurs en électricité d'installations de recharge pour VE. Les experts ont souligné l'importance d'offrir plus de possibilités d'études en Ontario qui portent sur les connaissances requises par l'industrie en pleine croissance des VE.

Le ROIV a publié le rapport Pleins feux sur les compétences, les talents et le perfectionnement de la main-d'œuvre : Réparation de VE, marché des pièces de rechange et infrastructures pour VE nécessaires à l'électrification. Le rapport avance que la requalification peut aider les travailleurs à s'adapter à la numérisation accrue qui caractérise l'électrification du secteur de la mobilité de la province. Ces observations illustrent l'éventail de possibilités et de besoins immédiats et futurs au sein de l'industrie qui façonnent la main-d'œuvre de l'Ontario et influencent les initiatives en éducation mises en œuvre dans la province.

État de préparation des réseaux de distribution locaux

L'état de préparation du réseau électrique pour répondre à la demande de la recharge de VE varie beaucoup d'une région à l'autre. Les centres urbains à forte densité de population tels que Toronto et Ottawa possèdent de vastes réseaux de distribution, mais ceux-ci sont vieillissants, de sorte que de nombreux transformateurs et artères sont déjà surchargés. Toronto Hydro mentionne qu'une « pression de plus en plus grande » est exercée sur le réseau de la ville à cause de la croissance et de l'électrification; c'est pourquoi la société a lancé un plan de modernisation (2025-2029) doté d'un budget de 5,1 milliards de dollars pour accroître la capacité et la fiabilité du réseau. Les sociétés de services qui desservent des municipalités de plus petite taille et des banlieues (comme Alectra Utilities, distributeur d'électricité de Mississauga, de Vaughan, de Markham et d'autres banlieues de la région du grand Toronto) constatent aussi une adoption accrue de VE dans les quartiers résidentiels qui peut mettre à l'épreuve l'infrastructure locale.

En revanche, dans de nombreuses régions rurales desservies par Hydro One, le problème réside dans les longues lignes d'alimentation et le fait que l'installation d'un nouveau site de recharge ou l'adoption de dizaines de VE dans les petites communautés peuvent soudainement accaparer une bonne partie de la capacité de charge locale. Pour répondre aux besoins des grosses stations de recharge pour VE, comme celles des parcs de camions électriques ou des aires de repos des autoroutes, il faudrait apporter des améliorations considérables aux artères et transformateurs des réseaux de distribution en milieu rural. Dans le Nord de l'Ontario, une majorité de villes et de collectivités

des Premières Nations sont alimentées par des réseaux de production en antenne et au diesel dont la capacité excédentaire est très limitée¹⁷¹. L'intégration de la recharge de VE dans ces régions risque de nécessiter des améliorations plus substantielles au réseau électrique, comme l'ajout de sources d'énergies renouvelables, de capacités de stockage ou de nouvelles lignes pour compléter le matériel de recharge.

Goulots d'étranglement des réseaux électriques et stratégies d'atténuation des sociétés de services publics

Comme de plus en plus de bornes de recharge sont installées, les SDL doivent composer avec des goulots d'étranglement à l'échelle de leurs réseaux électriques.

Transformateurs surchargés : les petits transformateurs des rues résidentielles, surtout les plus vieux de 10 à 25 kilovoltampères (kVA) n'ont pas été conçus pour répondre à une forte demande occasionnée par la recharge simultanée de plusieurs VE. Pour y remédier, des sociétés de services publics comme Niagara-on-the-Lake Hydro étudient la possibilité de remplacer les petits transformateurs par des gros dans les régions où l'adoption de VE gagne en popularité et d'actualiser les normes de conception afin d'utiliser des transformateurs de capacité accrue dans de nouvelles subdivisions. Les experts soulignent aussi le rôle critique des transformateurs pour libérer le plein potentiel des réseaux intelligents et de la recharge de VE. On doit prêter attention aux transformateurs et autres équipements du réseau ainsi qu'aux solutions technologiques telles que l'IA et l'apprentissage automatique pour en arriver à bâtir un écosystème entièrement intelligent.

Artères d’une capacité limitée : les principales lignes électriques (artères) qui alimentent les quartiers peuvent aussi être surchargées. Lorsqu’elles ont été aménagées, leur taille était adaptée à la consommation usuelle des ménages, mais pas aux besoins de charge supplémentaires venant des VE. Comme de plus en plus de VE sont rechargés à domicile, certains segments des artères peuvent atteindre les limites de leur capacité, surtout si les artères sont vieilles ou à basse tension. Une baisse de tension est une autre source de préoccupation, surtout dans les régions rurales, car la longueur de leurs lignes peut faire en sorte que la tension soit peu élevée à la fin du circuit. Mettre à niveau les artères est plus complexe que de remplacer les transformateurs, en particulier si les lignes sont enterrées. En guise de solutions, les sociétés de services publics risquent de privilégier la mise à niveau des artères les plus à risque, de recourir au stockage d’énergie ou à la recharge programmée pour réduire les charges de pointe et de promouvoir l’installation de petits sites de recharge à divers endroits plutôt que de gros sites centralisés.

Limites des postes de transformation : Plus globalement, les postes de transformation qui abaissent la tension acheminée du réseau de transport aux réseaux locaux sont aussi sous pression. Ces gros transformateurs, de 10 à 50 mégavoltampères (MVA) alimentent des villes ou districts au complet. En Ontario, beaucoup de ces transformateurs sont en voie d’atteindre leur capacité maximale en raison de la croissance urbaine et de la consommation accrue d’électricité, y compris pour la recharge de VE.

L’ajout ou la mise à niveau de transformateurs coûte cher et prend du temps. Certaines régions, comme le centre-ville de Toronto ou les banlieues en forte croissance, vont peut-être avoir besoin de nouveaux postes de transformation au début des années 2030.

Cartes de capacité interactives

En 2022, la CEO a demandé à tous les distributeurs d’électricité de lui fournir des informations publiques sur la capacité excédentaire de leur réseau, dans le but d’aider les clients à planifier les bornes de recharge de VE et autres nouvelles charges. Au moins 15 SDL sur les 59 en activité en Ontario ont lancé des cartes de capacité en ligne en 2025. Toronto Hydro a été la première grande société de services publics à donner suite à la demande en publiant sa carte de capacité de charge interactive au début de 2025. La carte permet de visualiser la charge supplémentaire que chaque poste de 27,6 ou 13,8 kilovolts (kV) de la ville peut fournir sans nécessiter de mise à niveau. Cela permet aux entreprises de recharge de VE et aux hôtes de site de choisir des emplacements appropriés au début du stade de planification, et ainsi éviter de payer pour un long processus de mise à niveau.

D’autres sociétés de services publics ont emboîté le pas. Ainsi, Alectra Utilities a lancé sa carte en mars 2025. De plus, à l’échelle de l’Ontario, Hydro One, Enwin, Milton Hydro, Oakville Power, Entegrus Powerlines et Halton Hills Hydro Inc. ont toutes publié des cartes de capacité du réseau de distribution interactive pour les régions qu’elles

desservent. De leur côté, les plus petites sociétés de services publics, comme London Hydro, Lakeland Power Distribution Limited, Canadian Niagara Power, Niagara Peninsula Energy, Niagara-on-the-Lake Hydro, Oshawa Power, NT Power et Eastern Ontario Power ont publié une estimation de la capacité de charge pour leurs régions respectives en format PDF.

Dans le cadre de la phase 2 de cette initiative, la CEO exigera la publication de cartes cohérentes et avancées sur une plateforme provinciale centralisée dès décembre 2025 afin que les intervenants aient facilement accès à des renseignements à jour sur la capacité des réseaux de distribution. Les cartes de capacité deviennent des outils de planification essentiels pour déterminer les goulots d’étranglement des réseaux et les endroits dans la province où de la capacité est disponible pour le déploiement de l’infrastructure de recharge pour VE.

4.2 Initiatives stratégiques de l’Ontario axées sur la recharge pour VE

Une panoplie de projets pilotes et de démonstration de technologies sont menés en Ontario pour faire progresser l’infrastructure de recharge pour VE, l’intégration au réseau et la gestion intelligente de l’énergie. Chapeautées par des sociétés de services publics, des entreprises privées et des organismes publics, ces initiatives sont souvent réalisées en collaboration avec des programmes fédéraux et des établissements locaux.

Programmes et stratégies à l'échelle provinciale

Le gouvernement de l'Ontario met de l'avant des initiatives stratégiques pour développer une infrastructure de recharge pour VE qui est à la fois abordable, fiable, sûre et accessible. Un élément central des programmes axés sur les VE de l'Ontario est le Programme ontarien pour la recharge des VE, qui accorde du financement aux municipalités, aux communautés autochtones, aux organismes sans but lucratif et aux partenaires du secteur privé pour l'installation de bornes de recharge publiques pour VE. Il est présenté à la page suivante.

Fonds de partenariats en R-D – Volet de recharge évoluée et de V2G : importante initiative pour aider les PME de l'Ontario à élaborer, à mettre à l'essai et à valider des technologies innovantes d'intégration au réseau et de recharge de VE. Doté de coinvestissements allant jusqu'à 1 million de dollars, il s'attaque à de grands défis, dont la mise au point de solutions de recharge sans fil, ultrarapide, bidirectionnelle, dynamique et intelligente, de technologies V2G et d'intégration de sources d'énergies renouvelables, ainsi que de systèmes de gestion de la demande énergétique et du réseau électrique et de stockage et de transmission d'énergie. En favorisant la collaboration entre les PME, l'industrie et les partenaires de recherche, le programme accélère la commercialisation des technologies qui renforcent la position de chef de file de l'Ontario dans le secteur de la mobilité durable.

Tarif d'électricité à rabais applicable aux bornes de recharge de véhicules électriques : dans le but de réduire encore plus les coûts et de favoriser les investissements dans les marchés émergents, l'Ontario compte proposer un nouveau tarif qui abaisserait le coût de l'électricité pour les bornes de recharge publiques de VE dans les régions où la demande pour ce service commence tout juste à émerger, ce qui rendrait l'infrastructure de recharge plus économique et donnerait aux conducteurs ontariens suffisamment de confiance pour passer aux véhicules électriques. Le nouveau tarif devrait entrer en vigueur le 1^{er} janvier 2026.

Procédures de raccordement pour la recharge des véhicules électriques : l'Ontario s'affaire aussi à accroître la fiabilité et la sécurité au moyen des procédures de raccordement pour la recharge de véhicules électriques, lancées en mai 2024. Il s'agit de règles que doivent suivre toutes les compagnies d'électricité locales dans le cadre de l'installation et du raccordement de nouvelles bornes de recharge pour VE. Les procédures simplifient les efforts de coordination entre les promoteurs et les sociétés de services publics, réduisent les retards liés aux formalités administratives et favorisent l'application de normes techniques uniformes au sein du réseau de recharge de l'Ontario.

Régime de tarification d'électricité de nuit très bas : lancé en 2023 pour rendre l'énergie plus abordable et améliorer l'efficacité du réseau, le régime de tarification prévoit des tarifs d'électricité très bas entre 23 h et 7 h, pour inciter les propriétaires de VE à recharger leur véhicule pendant les heures creuses.

Développement du réseau de recharge Ivy : bénéficiant du soutien d'Hydro One, le réseau de recharge IVY comprend maintenant 150 bornes de recharge rapide dans plus de 60 emplacements. Pour faciliter les déplacements de longue distance, il a installé en partenariat avec le gouvernement de l'Ontario des bornes de recharge de niveau 3 dans chacune des 20 stations ONroute rénovées le long des autoroutes 400 et 401.

Loi de 2024 sur l'énergie abordable : sanctionnée en décembre 2024, la *Loi de 2024 sur l'énergie abordable* comprend une partie qui confirme que la *Loi de 1998 sur la Commission de l'énergie de l'Ontario* ne s'applique pas aux propriétaires et exploitants de bornes de recharge pour VE, apportant ainsi les éclaircissements nécessaires aux entités du secteur privé qui souhaitent investir dans l'infrastructure de recharge.

Pleins feux sur le Programme ontarien pour la recharge des VE

Lancé par le gouvernement de l'Ontario, le Programme ontarien pour la recharge des VE finance l'installation de bornes de recharge publiques pour VE dans la province dans le but de bâtir un réseau plus branché, de rendre les bornes de recharge plus accessibles et abordables et de favoriser l'adoption de VE. En 2023, le premier engagement du programme consistait à investir 91 millions de dollars dans l'installation de plus de 1 300 nouvelles bornes de recharge pour VE dans les communautés partout en Ontario. Administré actuellement par le ministère des Transports (MTO), le programme comprend deux volets : le volet des sites communautaires et le volet des sites gouvernementaux.

Dans le cadre du volet des sites communautaires, les entités des secteurs privés, public et sans but lucratif et les communautés autochtones admissibles peuvent présenter une demande de subvention pour l'installation de bornes de recharge dans les zones sous-desservies. Jusqu'à maintenant, du financement a été accordé à plus de 270 projets visant à installer des bornes dans des arénas, des hôpitaux, des parcs et d'autres sites. Cela comprend l'installation de 190 nouvelles bornes de recharge dans le Nord de l'Ontario. Le volet des sites gouvernementaux met quant à lui l'accent sur les terrains appartenant au gouvernement situés dans les régions éloignées et sous-desservies de l'Ontario, y compris les aires de repos des autoroutes, les stationnements de covoiturage et les destinations touristiques.

Le Programme ontarien pour la recharge des VE est particulièrement utile dans les endroits qui ont besoin du soutien du gouvernement pour stimuler les investissements dans l'infrastructure de recharge pour VE, notamment les emplacements saisonniers qui sont plus achalandés pendant certains mois de l'année et les régions éloignées où, en raison d'un moins grand nombre d'utilisateurs, l'utilisation est faible, mais tout de même importante pour permettre l'adoption des VE à l'échelle locale et les longs déplacements. En couvrant jusqu'à 75 % des coûts des projets des demandeurs admissibles, le programme facilite la participation des communautés de la province à la transition vers les VE. Le Programme ontarien pour la recharge des VE est aussi bénéfique pour les propriétaires éventuels de VE, en remédiant à l'accès insuffisant à des bornes de recharge publiques fiables, un facteur connu qui nuit à l'adoption des VE.

Par ailleurs, dans son budget de 2025, le gouvernement s'est engagé à investir 92 millions de dollars supplémentaires, pour un total de plus de 180 millions de dollars, afin d'augmenter le nombre de bornes de recharge pour VE. Compte tenu de l'évolution et du développement du Programme ontarien pour la recharge des VE, le MTO examine présentement les résultats du programme et les commentaires reçus à ce sujet afin de faire en sorte qu'il continue de répondre aux besoins particuliers de la population ontarienne à l'échelle provinciale. Le MTO se penche aussi sur les moyens que le programme pourrait employer pour soutenir les technologies qui préparent l'infrastructure de recharge de la province pour l'avenir et améliorent l'état de préparation du réseau électrique.



Démonstrations de V2G

Projet pilote de recharge bidirectionnelle V2G de Blackstone Energy Services : ce projet portait sur la mise à l'essai d'une technologie de recharge bidirectionnelle dans des collèges de l'Ontario, y compris la restitution d'électricité au réseau ou à l'établissement par les VE en périodes de pointe. Il servait à examiner comment les VE peuvent servir de RED et contribuer à stabiliser le réseau électrique.

Peak Power – projet pilote de recharge bidirectionnelle V2G Peak Drive : l'un des plus importants du genre au monde, ce projet de démonstration de recharge bidirectionnelle V2G utilisait des véhicules Nissan LEAF et des bornes de recharge bidirectionnelle dans trois immeubles de bureaux commerciaux du centre-ville de Toronto. Il a montré que les VE pouvaient fournir des services de réseau et réduire la demande d'électricité en périodes de pointe.

Recharge intelligente et intégration de l'IA

Projet pilote VE Partout de BluWave-ai et Hydro Ottawa : ce projet se sert de l'IA pour gérer la recharge de VE en périodes de pointe. Soutenu par la SIERE et par la CEO, il a montré comment l'IA peut optimiser les horaires de recharge et ainsi réduire la pression exercée sur le réseau et les coûts énergétiques.

Programme pilote de recharge intelligente de Toronto Hydro : mené en collaboration avec Plug'n Drive et Elocity Technologies, ce programme pilote fournissait des dispositifs de recharge intelligente aux

résidents avec lesquels ils pouvaient surveiller et contrôler la recharge de leur VE. Il servait aussi à recueillir des données sur les habitudes de recharge afin d'orienter les futurs efforts de planification de l'infrastructure et de gestion de la demande.

SWTCH : recharge intelligente de VE dans les immeubles résidentiels à logements multiples : appuyé par le Fonds de partenariats en R-D, le programme Stages de développement des talents et un site régional pour le développement des technologies (SRDT) du ROIV, SWTCH a mis au point Cortex, une plateforme de recharge intelligente de VE, qui permet d'améliorer l'efficacité énergétique du réseau en gérant l'équilibrage des charges dans les immeubles à logements multiples.

SWTCH et Kite Mobility : optimisation de la recharge dans une communauté à forte densité de population : en juillet 2025, SWTCH a réalisé un projet de recharge pour VE dans un environnement à locataires multiples en partenariat avec Friday Harbour Resort, Kite Mobility et le ROIV. Dans le cadre du projet, 15 bornes de recharge intelligente de niveau 2 et un système de gestion de la demande ont été installés pour dans un complexe de villégiatures de luxe avec SWTCH Control^{MC} pour ajuster dynamiquement les charges en fonction de la consommation d'énergie en temps réel, réduire la pression exercée sur le réseau local et faciliter l'adoption à grande échelle des VE. Le projet a aussi été intégré à la plateforme de mobilité partagée de Kite, sur laquelle les résidents peuvent réserver et partager des VE et véhicules de micromobilité,

ce qui encourage l'utilisation de moyens de transport durables dans les milieux à forte densité de population.

Plateforme de gestion intelligente des activités de recharge de Clockwork : projet novateur qui se sert de l'IA pour améliorer la fiabilité et l'efficacité de l'infrastructure des VE. Clockwork a développé une plateforme alimentée par l'IA qui surveille l'état des bornes de recharge pour VE, détecte les anomalies et automatise les tâches d'entretien. Soutenu par le ROIV, le projet, mené en partenariat avec BGIS, vise à mettre à l'échelle les réseaux de recharge intelligente tout en réduisant le plus possible les coûts et l'impact sur le réseau.

Plateforme HIEV-Nano d'Elocity : projet de recharge intelligente de VE axé sur l'intégration avant-gardiste de l'IA et technologies d'échange d'énergie bidirectionnel. Appuyée par le ROIV, la plateforme HIEV-Nano d'Elocity gère dynamiquement l'énergie en permettant aux VE de se recharger et de restituer de l'énergie aux domiciles, aux immeubles ou au réseau d'électricité.

Électrification des réseaux de transport en commun

Projet pilote de recharge d'autobus électriques de la CTT et de PowerON Energy Solutions : la Commission de transport de Toronto (CTT) a installé 10 pantographes pour recharger des autobus électriques à son garage Birchmount situé à Scarborough. Réalisé en partenariat avec PowerON Energy Solutions, ce projet pilote portait

sur l'électrification du parc de véhicules de la CCT et la mise à l'essai de solutions de recharge haute capacité dans les dépôts.

Chaîne de blocs et innovation énergétique

Projet pilote de recharge avec chaîne de bloc de SWTCH et Opus One : ce projet de démonstration se servait de la technologie de chaîne de blocs pour suivre la consommation et la facturation d'énergie liées à la recharge de VE dans des immeubles de bureaux de Toronto. Il portait aussi sur la transformation des VE en source d'électricité pour les résidents, afin de pousser plus loin le concept de systèmes énergétiques décentralisés.

Recharge de VE lourds et industriels

Projet pilote de recharge de véhicules lourds d'HydroOne : financé par RNCAN, ce projet pilote est axé sur l'élaboration d'un modèle évolutif de recharge pour les camions électriques lourds. Il porte sur les exigences uniques à respecter en matière d'infrastructure et de réseau pour électrifier le secteur du transport commercial.

Investissement dans Stromcore pour la mise au point de chargeurs pour chariots élévateurs électriques : avec le soutien du gouvernement fédéral, Stromcore a lancé deux nouveaux produits, plus précisément Turbo Bank, un chargeur rapide alimenté par l'IA, et Electric Cart, un chariot élévateur électronique adapté au temps froid. Ces

innovations soutiennent l'électrification dans le secteur industriel et la recharge rapide dans des environnements difficiles.

Innovation en matière de véhicules autonomes et de recharge sans fil

Système de recharge rapide pour véhicules autonomes de Jule : grâce au soutien du Programme de développement des talents du ROIV, Jule a recruté de nouveaux membres pour son équipe d'ingénieurs en vue de la mise au point et du déploiement de stations de recharge adaptées aux véhicules autonomes (VA).

Système de recharge sans fil pour VA ou VE d'eLeapPower : soutenu par le Fonds de partenariats en R-D et le Programme de développement des talents du ROIV, ce projet portait sur les solutions de recharge sans fil et autonome pour les véhicules utilitaires électriques et connectés et visait à répondre au défi que représentent les infrastructures du dernier kilomètre.

Station de recharge de VE transportable de TROES et Day & Night Solar : financé dans le cadre du volet VE du Fonds de partenariats en R-D du ROIV, ce projet est axé sur le développement d'une station de recharge portable de niveau 3 alimentée à l'énergie solaire et d'un SSEB repliable. Ce système se déploie rapidement pour servir d'appoint au réseau, en permettant de recharger des VE dans des endroits éloignés ou des emplacements temporaires.

« Notre gouvernement ouvre la voie à un avenir électrique en construisant l'infrastructure de recharge pour VE dont les conducteurs ont besoin, là où ils en ont besoin. En augmentant l'accessibilité des bornes de recharge publiques pour VE dans la province, y compris au sein des communautés rurales et nordiques, nous offrons aux conducteurs des options de déplacement plus durables et plus pratiques. »

— Prabmeet Sarkaria, ministre des Transports de l'Ontario

4.3 Initiatives de l'Ontario axées sur le réseau intelligent et l'infrastructure numérique

Réseau intelligent et compteurs avancés

L'Ontario s'impose comme un chef de file mondial dans l'intégration des VE au réseau d'électricité. Grâce à son engagement à innover dans le domaine des réseaux intelligents ces dix dernières années, la province a jeté de solides bases numériques qui permettent de gérer l'énergie en temps réel, soutiennent des solutions de transport propres et placent l'Ontario à l'avant-garde de la transition énergétique.

Un élément central des efforts à cet égard de l'Ontario est son infrastructure relative aux compteurs avancés (ICA), y compris le déploiement pratiquement universel de compteurs intelligents dans les foyers et les entreprises. Ces compteurs prennent en charge la facturation de tarifs FHC et fournissent des données détaillées en temps réel sur la consommation d'électricité. Les données recueillies sont essentielles pour gérer la recharge des VE, car les services publics peuvent s'en servir pour surveiller l'évolution de la demande et aider les consommateurs à opter pour la recharge pendant les heures creuses, afin de réduire la pression exercée sur le réseau et les coûts.

Pour promouvoir l'innovation et responsabiliser les consommateurs, l'Ontario a adopté la norme de transmission des données sur l'électricité du bouton vert. Cette initiative permet aux consommateurs de transférer en toute sécurité les données sur leur consommation d'énergie vers des applications tierces;

ces données sont ensuite utilisées pour développer des solutions de recharge intelligente et des outils de gestion énergétique. En élargissant l'accès aux données de consommation d'énergie, l'Ontario favorise une nouvelle gamme de services numériques qui peuvent optimiser les horaires de recharge de VE, réduire les coûts et rendre le réseau plus fiable.

Le réseau intelligent de l'Ontario s'appuie sur une vaste infrastructure de données. Le système de gestion et de stockage des données des compteurs (SGSDC) enregistre des milliards de données ponctuelles transmises par les compteurs intelligents, que les services publics utilisent pour analyser les habitudes de recharge de VE. Dans le cadre de projets pilotes, des VE ont été équipés d'enregistreurs de données sur les habitudes de recharge (heure et lieu), lesquelles ont servi à prévoir les répercussions locales sur le réseau au moyen de modèles améliorés par l'IA. Avec ces renseignements, les services publics peuvent créer des « cartes de densité » d'adoption de VE, déterminer les transformateurs susceptibles d'être surchargés et élaborer des programmes à l'intention des clients, comme des alertes s'ils rechargent leur VE en période de forte demande.

Solutions et services numériques et logiciels

L'Ontario compte aussi sur un écosystème florissant de plateformes logicielles permettant de gérer la recharge de VE de manière évolutive. La plateforme infonuagique « EV Fleet Orchestrator » mise au point par l'entreprise d'Ottawa BluWave-ai en constitue un exemple, car elle optimise la recharge des parcs de VE

en utilisant les données en temps réel sur les prévisions météorologiques, les tarifs d'électricité, l'état des bornes et la télématique des véhicules. Cet outil permet aux exploitants de parcs automobiles, y compris ceux œuvrant dans les domaines du transport en commun municipal, de la livraison du dernier kilomètre et du soutien aéroportuaire, d'étaler les recharges, de réduire les charges de pointe, voire d'employer les VE comme source d'énergie de secours, ce qui se traduit à la fois par des économies d'exploitation et des avantages pour le réseau.

Les services publics investissent également dans l'innovation. La SIERE se sert de son Fonds d'innovation pour le réseau (FIR) pour appuyer des projets portant sur la recharge intelligente et le stockage d'énergie par batterie. Depuis 2005, le FIR a permis de réaliser des projets d'énergie novateurs en Ontario dans le but de réduire la facture d'électricité des contribuables. Le FIR a financé plus de 260 projets depuis sa mise sur pied, y compris ceux qui visent à soutenir l'infrastructure de recharge de VE. Depuis 2019, la valeur totale des projets financés par le FIR s'élève à plus de 110 millions de dollars, y compris des investissements de 9,26 millions de dollars en 2024.

Une autre initiative digne de mention est l'Espace innovation de la Commission de l'énergie de l'Ontario, un bac à sable réglementaire flexible à la disposition des projets pilotes d'intégration des véhicules au réseau. Ces initiatives facilitent la transition de l'Ontario d'une infrastructure fixe à des systèmes logiciels d'énergie intelligents, en plus de servir d'exemples aux autres administrations qui souhaitent intégrer efficacement les VE à leur réseau.

Par ailleurs, l'Ontario examine de nouveaux modèles pour gérer la demande venant de la recharge, dont le stockage à la demande (SaaS). Les modèles SaaS adaptés aux VE offrent un accès à la demande au stockage d'énergie par batterie, ce qui aide à équilibrer les charges du réseau, à gérer les coûts d'énergie et à soutenir l'intégration de sources d'énergies renouvelables. Par exemple, dans le cadre du projet pilote VE Partout, Moment Energy, une entreprise qui donne une deuxième vie aux batteries de VE après leur mise hors service, réemploiera ces batteries pour fournir une capacité supplémentaire en périodes de pointe. Ce modèle permet aux services publics de reporter des mises à niveau coûteuses de l'infrastructure en comblant leurs besoins d'énergie auprès de tiers qui en emmagasinent. Dans la même veine, la plateforme de décarbonation de Peak Power, une entreprise torontoise du secteur des technologies propres, regroupe les VE et les batteries sous forme de « centrale virtuelle » qui peut participer aux programmes de réduction de la demande en périodes de pointe. Ces modèles SaaS présentent des avantages opérationnels et économiques, en transformant les VE en actifs qui concourent à la fiabilité et la résilience du réseau.

Initiatives en matière de RED, de SSEB et de microréseaux

L'Ontario dispose d'installations prometteuses de RED, notamment de panneaux solaires installés sur les toits, qui aident à contrebalancer la consommation d'électricité des VE. Deux programmes clés ont appuyé les RED en Ontario :

le Programme de tarifs de rachat garantis (TRG) pour les micro-projets et le Programme de facturation nette. Mis en œuvre de 2009 à 2017, le Programme de TRG pour les micro-projets versait aux propriétaires et autres fournisseurs un prix garanti pendant 20 ans pour toute l'électricité produite dans le cadre de projets d'énergie renouvelable qui ont une puissance installée d'au plus 10 kW. Le Programme de facturation nette est une initiative permanente dans le cadre duquel les consommateurs peuvent produire de l'électricité renouvelable pour leur propre usage tout en envoyant l'excédent d'électricité, ce qui leur permet d'obtenir un crédit pour compenser les frais liés à leur future consommation d'électricité. Les crédits servent aussi à compenser l'énergie du réseau qu'un VE consomme la nuit. North Bay est un exemple de communauté qui se sert des RED pour la recharge de VE. À son parc énergétique communautaire, une « fleur de panneaux solaires » orientable de 10 kW recharge une batterie de 250 kW, qui en retour, alimente des bornes de recharge publiques, afin que les véhicules puissent être rechargés, même si le réseau principal est en panne.

Comme mentionné précédemment, le marché mondial des SSEB connaît un essor dans la foulée de l'adoption des VE. Les exemples d'utilisation de cette technologie en Ontario sont abondants. Les sociétés de transport en commun, dont la CCT, collaborent avec la filiale PowerOn d'Ontario Power Generation (OPG) à la conception de garages d'autobus dotés de SSEB appartenant à des services publics qui rechargent lentement les autobus électriques pendant les heures creuses et les rechargent rapidement au changement de

quart, ce qui permet d'aplanir le profil de charge du dépôt et de réduire les coûts pendant la durée de vie des autobus. Toujours à Toronto, Peak Power a coordonné l'utilisation d'une centrale virtuelle composée d'un VE et d'un système de stockage d'énergie, afin de réduire la demande exercée par un bâtiment sur le réseau en périodes de pointe.

L'Ontario s'est aussi penché sur le rôle de soutien et d'optimisation que les microréseaux peuvent jouer au chapitre de la recharge de VE. Parmi les exemples de projets pilotes de microréseau, mentionnons le projet de microréseau d'énergie communautaire intelligent d'Opus One réalisé à Pickering en Ontario. Le microréseau regroupait 27 maisons en rangée dotées chacune de panneaux solaires installés sur le toit, d'un SSEB et d'une borne de recharge de VE. Le projet intégrait tous ces éléments à l'aide d'une plateforme de gestion des ressources énergétiques intelligente, afin de coordonner leur utilisation.

4.4 Initiatives de gestion de la demande et d'optimisation de la charge en Ontario

Du côté de la demande, une approche de gestion et d'optimisation de la charge multidimensionnelle est étudiée par l'Ontario; celle-ci intègre des signaux économiques comme les tarifs FHC, des systèmes de gestion de la recharge de VE pour coordonner la demande et un flux d'énergie bidirectionnel permettant aux VE de restituer de l'énergie aux domiciles, aux immeubles et même au réseau d'électricité.

Stratégies de tarification

L'Ontario prévoit une augmentation de 75 % de la demande d'électricité d'ici 2050, d'où l'importance d'une utilisation efficace du réseau. La province a lancé des mesures telles que le régime de tarification NTB pour encourager la recharge de VE en période creuse, en offrant un tarif réduit de 23 h à 7 h. Cette initiative aide à aplanir la courbe de charge et à utiliser l'excédent d'électricité produit durant la nuit. De plus, la Commission de l'énergie de l'Ontario (CEO) entend adopter des tarifs d'électricité applicables aux stations de recharge rapide publiques pour VE ayant un faible facteur d'utilisation (infrastructure haute capacité peu utilisée). Selon les estimations, il serait possible de réaliser des économies de 5,7 millions de dollars en coûts de capacité si un nombre suffisant de clients passait au tarif de nuit très bas. Le tarif est appliqué moyennant un mécanisme de « gestion virtuelle de la charge », qui incite les consommateurs à déplacer les charges vers les périodes où le réseau est le plus flexible.

De plus, l'Ontario a été l'une des premières administrations en Amérique du Nord à offrir des tarifs d'électricité NTB à la quasi-totalité des clients résidentiels. Ces stratégies de tarification favorisent l'adoption de VE tout en atténuant la pression sur le réseau en périodes de pointe. Enfin, des services publics et d'autres acteurs clés réalisent des projets axés sur la « recharge intelligente » et l'échange d'énergie V2G; les programmes pilotes de Peak Power et d'Alectra (AlectraDrive @Home) en sont des exemples. Ces efforts visent à faire en sorte que le réseau ne soit ni surdimensionné ni surchargé.

Initiatives de gestion de la recharge

Les services publics emploient des outils de gestion de la recharge pour ajuster la recharge des VE en temps réel afin d'éviter les pics de consommation, assurer la stabilité du réseau et utiliser plus d'énergie de sources renouvelables, en plus d'envoyer des signaux concernant les tarifs. L'Ontario dirige des programmes qui portent sur ce genre de solutions. Par exemple, BluWave-ai a organisé avec succès le premier événement de gestion de la demande et de la recharge par l'IA au Canada au moyen d'un éventail diversifié de VE, en partenariat avec Hydro Ottawa. La plateforme EV Everywhere^{MC} de l'entreprise a suspendu les séances de recharge en périodes de pointe pour aider à stabiliser le réseau et à promouvoir la consommation d'énergie de sources renouvelables. De son côté, dans le cadre du programme pilote AlectraDrive @Home, Alectra a étudié la réponse des propriétaires de VE aux incitatifs et aux commandes automatisées. À ce sujet, les experts soulignent l'importance d'offrir des incitatifs dans le cadre des efforts pour mettre en place un système efficace de gestion du réseau. Les consommateurs ont particulièrement besoin d'être incités à participer à des programmes, notamment si les services publics contrôlent la recharge de leur VE, par exemple en période de canicule, quand le réseau est mis à rude épreuve.

Initiatives d'échange d'énergie V2X

Les technologies V2X permettent aux VE de communiquer entre eux et de restituer de l'énergie au réseau ou à d'autres systèmes, ce qui traduit par

plus de flexibilité, une résilience énergétique accrue et de nouvelles sources de revenus. L'Ontario a déjà commencé à déployer des technologies de recharge V2X. En 2019, 21 bornes de recharge bidirectionnelle de niveau 3 connectées à des véhicules Nissan LEAF ont été déployées dans trois tours de bureaux dans le cadre du projet Peak Drive. En périodes de forte demande, les véhicules restituaient de l'énergie aux immeubles, pour des économies annuelles d'énergie atteignant jusqu'à 8 000 \$ par VE. Si on est encore loin d'un déploiement généralisé de la technologie V2G, celle-ci est très prometteuse à long terme. Selon les prévisions, la capacité totale de décharge des VE de l'Ontario pourrait dépasser la demande de pointe en été dans la province. Utilisées de manière stratégique, ces ressources latentes pourraient fournir de l'électricité en période de pointe à des coûts bien moindres que ceux à engager pour la construction et l'exploitation de centrales d'électricité de pointe au gaz naturel.

4.5 Principaux acteurs de l'écosystème de l'infrastructure de recharge de VE en Ontario

L'écosystème de l'infrastructure de recharge de VE de l'Ontario évolue rapidement, sous l'impulsion d'un groupe diversifié d'intervenants, y compris des entreprises privées, des organismes de réglementation et des fournisseurs d'électricité. Cet écosystème englobe la fabrication de matériel, le développement de logiciels, le stockage d'énergie et l'intégration au réseau intelligent. Des acteurs clés contribuent non seulement à l'expansion des réseaux de recharge

de VE résidentiels, commerciaux et publics, mais aussi à l'innovation dans les secteurs tels que la gestion énergétique par l'IA, la recharge sans fil et les technologies de batterie. Les organismes de réglementation et les services publics locaux jouent un rôle essentiel dans l'élaboration des politiques et la normalisation des exigences de raccordement au réseau, en plus de soutenir le déploiement de l'infrastructure de recharge dans la province.

Organismes de réglementation

Commission de l'énergie de l'Ontario : principal organisme de réglementation des services publics d'électricité et de gaz naturel de la province. Pour simplifier l'intégration de l'infrastructure de recharge pour VE, la CEO a publié les procédures de raccordement pour la recharge de véhicules électriques.

Société indépendante d'exploitation du réseau d'électricité : organisme chargé de gérer le réseau d'électricité de l'Ontario et de planifier les besoins énergétiques à long terme. Il appuie l'intégration de la recharge pour VE au moyen de programmes comme le FIR, qui finance les projets pilotes axés sur la recharge intelligente, les technologies V2G et la fiabilité du réseau.

Grandes sociétés de services publics

Toronto Hydro : société de distribution d'électricité municipale qui dessert la ville de Toronto. Dans le domaine de la recharge de VE,

Toronto Hydro appuie le déploiement de l'infrastructure en établissant des partenariats et plans stratégiques qui cadrent avec les objectifs de carboneutralité de la ville.

Alectra Utilities : société qui dessert plusieurs municipalités, dont Mississauga, Vaughan et Hamilton. Elle prend activement part à des programmes pilotes de réseau intelligent et de recharge de VE, y compris à la recherche sur la technologie V2G, et elle a conçu un site Web accessible au public qui fournit de l'information sur les VE.

Hydro One : société qui dessert des clients principalement dans des régions rurales et éloignées, qui représentent 26 % de tous les clients dans la province. Elle facilite les raccordements des stations de recharge rapide publiques, en particulier le long des autoroutes et dans les régions sous-desservies.

Fournisseurs de l'infrastructure de recharge pour VE

United Chargers (Toronto) : important fabricant canadien d'équipements de recharge pour VE qui est reconnu pour sa gamme de bornes Grizzl-E. United Chargers se consacre à la création de solutions de recharge durables, abordables et évolutives pour les particuliers et les entreprises.

Autochargers.ca (Markham) : filiale d'United Chargers, elle est spécialisée dans la vente, l'installation et l'entretien de bornes de recharge de VE résidentielles et commerciales.

Evolute Power (Toronto) : société spécialisée dans les solutions de gestion de l'énergie et de recharge pour VE, en particulier celles destinées aux IRLM. Ses technologies vedettes, comme le panneau intelligent Evolute^{MC} et la plateforme Evolute PRO, sont évolutives et compatibles avec toutes les bornes de recharge de l'infrastructure des immeubles. Forte du soutien du ROIV et en partenariat avec Eaton Industries Canada, Evolute Power fait progresser son système de gestion énergétique intelligent d'infrastructure de VE.

Kiwi Charge (Toronto) : société qui offre la recharge en tant que service (CaaS) au moyen d'unités mobiles autonomes qui alimentent directement les VE stationnés, pour ainsi éviter des mises à niveau coûteuses des infrastructures.

metroEV (Markham) : entreprise spécialisée dans l'installation de bornes de recharge pour VE destinées aux secteurs résidentiel, commercial et institutionnel.

SWTCH (Toronto) : entreprise qui offre des solutions de recharge de VE adaptées aux immeubles à logements multiples, complétées par une robuste plateforme de recharge.

Jule (Toronto) : entreprise qui intègre des options de recharge de niveau 3 aux systèmes de gestion intelligente de l'énergie et de stockage d'énergie par batterie, pour accroître la réactivité du réseau. Auparavant eCamion,

Jule a collaboré avec le Centre d'excellence automobile de l'Université technologique de l'Ontario par l'intermédiaire du SRDT de Durham du ROIV à la mise au point d'une solution de stockage d'énergie et de recharge rapide de bout en bout.

SolarBank Corporation (Toronto) : l'entreprise, qui se nomme maintenant PowerBank Corporation, s'implante dans le secteur des infrastructures de VE en réalisant des projets de recharge rapide à Woodstock, Peterborough et Milton, en collaboration avec AI Renewable et des collectivités des Premières Nations.

Technologies de stockage d'énergie et de batterie

Gbatteries (Ottawa) : entreprise qui met au point une technologie novatrice de gestion intelligente des batteries conçue pour la mobilité électrique.

Peak Power (Toronto) : fournisseur de solutions logicielles de stockage d'énergie et d'optimisation pour les immeubles, les véhicules et le réseau d'électricité.

TROES (Markham) : fournisseur de systèmes modulaires de stockage d'énergie par batterie intégrant des contrôleurs de miniréseaux.

Stromcore Energy Inc. (Mississauga) : concepteur de batteries aux ions de lithium industrielles qui fait avancer les technologies de recharge rapide.

AlumaPower (Sarnia) : entreprise en démarrage du secteur des technologies propres qui conçoit une

technologie de batterie air-aluminium qui transforme les rebuts d'aluminium en énergie propre durable. Grâce au soutien du ROIV, AlumaPower travaille avec Festival Hydro pour mettre à l'essai en conditions réelles un générateur d'électricité indépendant du réseau pour la recharge de VE.

e-Zinc Inc. (Toronto) : entreprise qui met à l'essai des solutions de stockage de l'énergie longue durée. e-Zinc a mis au point une technologie électrochimique révolutionnaire de stockage d'énergie dans du zinc métallique, qui constitue une solution de recharge sûre, abordable et recyclable aux batteries conventionnelles. Appuyée par le ROIV et en partenariat avec Toyota Tsusho Canada, e-Zinc met au point des solutions de stockage novatrices à différentes fins, dont la recharge évoluée de VE.

Solutions de recharge intelligente et reposant sur l'IA

BluWave-ai (Ottawa) : entreprise qui a développé la plateforme de planification intelligente de la recharge de VE alimentée par l'IA du programme VE Partout.

Clockwork (Kitchener) : entreprise qui met au point un logiciel de gestion des activités de recharge de VE qui permet aux exploitants de connaître en temps réel la performance de l'ensemble des bornes de recharge ainsi que l'intégrité des systèmes. Forte du soutien du ROIV et de la collaboration de BGIS Global Integrated Solutions, l'entreprise développe une plateforme alimentée par l'IA pour améliorer la fiabilité et l'efficacité de l'infrastructure de recharge de VE.

eLeapPower (Toronto) : entreprise qui met au point systèmes efficaces pour groupe motopropulseur et des équipements de recharge sans fil avec lesquels les VE peuvent se recharger directement à partir de sources renouvelables.

Elocity Technologies Inc. (Toronto) : fournisseur de systèmes de recharge intelligente et bidirectionnelle (HIEV-Nano) compatibles avec des solutions de production d'énergie solaire et de stockage d'énergie par batterie. Appuyée par le ROIV, Elocity Technologies travaille en partenariat avec Milton Energy and Generation Solutions Inc. et Burlington Electricity Services Inc. à la mise en œuvre d'une solution de recharge de VE résidentielle et commerciale en nanoréseau.

Innovateurs dans les technologies pour véhicules et de recharge

Daymak (Toronto) : entreprise qui met au point des VE légers et une technologie brevetée de recharge sans fil (Ondata).

PowerON Energy Solutions (Toronto) : filiale d'OPG qui se spécialise dans l'électrification des parcs de véhicules de transport. Elle fournit aux sociétés de transport en commun et aux exploitants commerciaux des solutions d'infrastructure de recharge pour VE et énergétiques qui contribuent à accélérer le virage de l'Ontario vers la mobilité électrique verte.

Verdyn (Toronto) : fournisseur de solutions énergétiques spécialisé dans les systèmes de recharge de VE et d'alimentation de pointe. Son infrastructure résiliente novatrice permet l'intégration de sources d'énergie propre et d'éléments au réseau dans les régions éloignées et en milieu industriel. Avec le soutien du ROIV, Verdyn travaille avec Thinking Capital à la mise au point et à la démonstration d'une installation de recharge rapide innovante par énergie solaire en microréseau CC qui comprend une solution de stockage d'énergie.

Soneil Spark (Brampton) : entreprise qui offre une gamme de technologies de recharge intelligente évolutives, y compris des bornes de recharge modulaires de niveau 3 et des remorques de recharge de VE mobiles. Soneil Spark coucourt aux progrès de l'infrastructure de VE résidentielle, commerciale et en régions éloignées. Grâce au soutien d'OK Tire et du ROIV, Soneil Spark conçoit un système d'équilibrage des charges du réseau qui permet d'utiliser plus efficacement l'infrastructure électrique existante, afin que les entreprises puissent déployer des capacités de recharge de VE sans avoir à faire des améliorations coûteuses et de longue haleine aux équipements électriques.

Variablegrid (Toronto) : entreprise spécialisée dans les systèmes de gestion énergétique de la recharge de VE à domicile et pour immeubles à logements multiples. Bénéficiant du soutien du ROIV,

Variablegrid collabore avec Hypercharge Networks et Leading Ahead Incau développement d'une plateforme de gestion énergétique qui ajuste dynamiquement la recharge de VE, dotée de capacités de coordination énergétique multiniveau et d'échange d'énergie V2G.

Voltra (Waterloo) : entreprise en démarrage qui met au point un logiciel d'interface de programmation d'application modulaire pour moderniser l'infrastructure de VE et les systèmes énergétiques décentralisés. Sa plateforme phare, Charge, permet de contrôler les réseaux de recharge de VE en temps réel et de façon évolutive, ce qui aide les services publics et les sociétés d'exploitation à gérer la demande, à accroître la fiabilité et à prolonger la durée de vie de leur infrastructure existante.

Cence Power Inc. (Markham) : spécialisée dans la commercialisation d'un système de distribution de CC facile à déployer, Cence Power Inc. met au point un système d'alimentation de 12kW de classe 4 dotée de capacités de gestion de défauts qui révolutionne l'infrastructure de recharge de VE de niveau 2 en éliminant le besoin d'installer du câblage CA traditionnel, une protection mécanique et des conduits.

Ce projet vise à accroître l'extensibilité, la rentabilité et la flexibilité des installations de bornes de recharge de VE, en particulier dans les établissements commerciaux, où les panneaux électriques sont souvent situés loin des stationnements. Contrairement

aux bornes de recharge de niveau classiques, qui nécessitent du câblage CA de 240 V, le système de Cence Power Inc. alimente directement la borne de recharge en CC de 400 V; l'installation est donc simplifiée et il est possible d'utiliser du câblage en cuivre moins épais, ce qui réduit considérablement les coûts des matériaux et les répercussions sur l'environnement. Le système comprend un mécanisme perfectionné de détection de défauts et de coupure rapide de courant qui en assure la sécurité ainsi que le maintien d'une distribution d'électricité en CC à haut rendement.

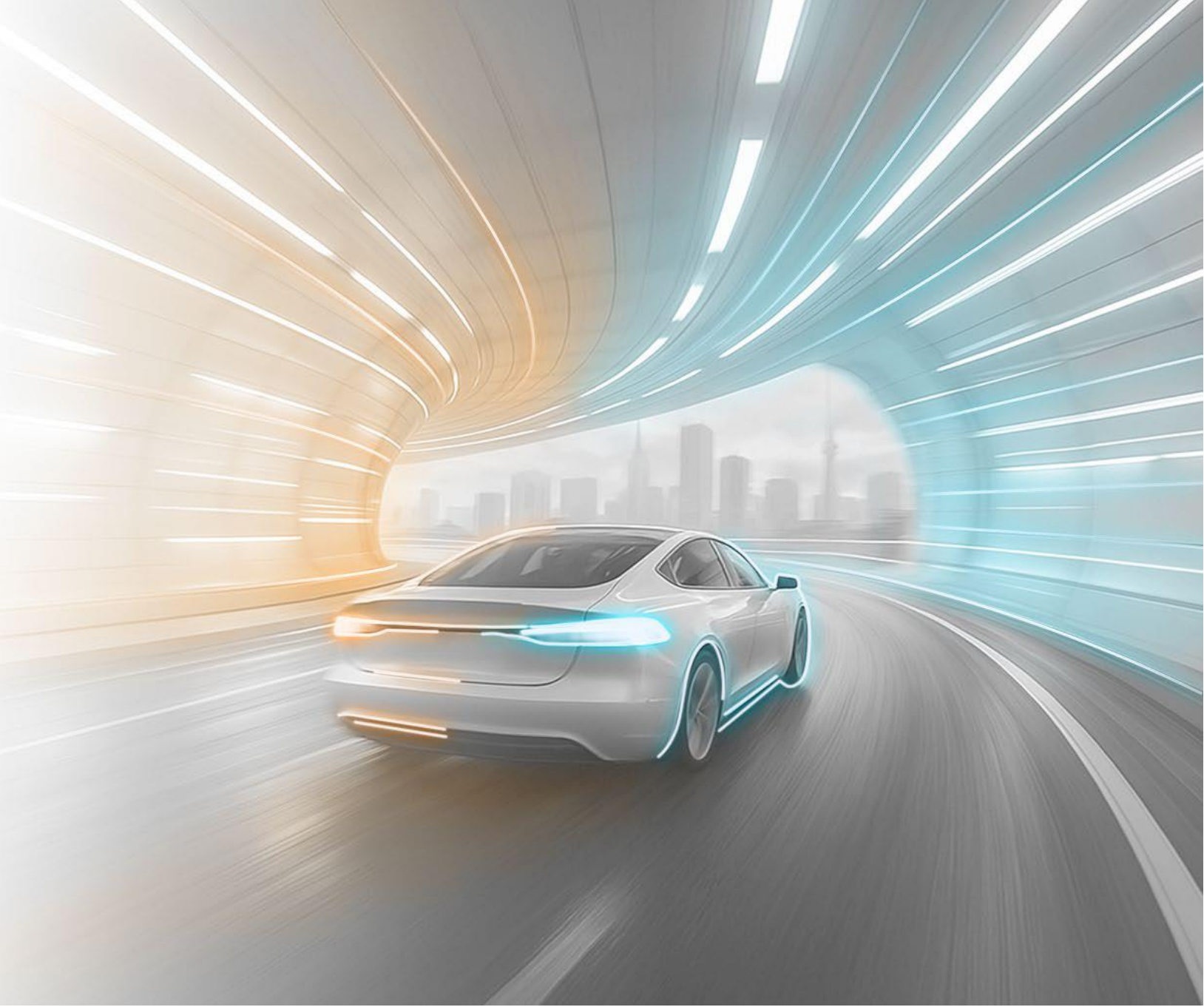
Ce projet a pour objectif de faire passer la technologie d'un système de validation de principe fonctionnel à un système certifié par l'UL, validé dans le cadre d'installations pilotes en Ontario. En réduisant les besoins en main-d'œuvre et en matériaux des installations de bornes de recharge pour VE, la solution soutient l'adoption à grande échelle des VE tout en consolidant la position de chef de file de l'Ontario dans l'innovation en énergie propre. Le projet créera des emplois hautement spécialisés dans les secteurs de l'énergie et des technologies propres en Ontario, renforcera les partenariats de fabrication locaux et aidera la province à atteindre ses objectifs en accélérant la transition à une infrastructure de recharge de VE plus efficace.

Principaux acteurs de l'écosystème de l'infrastructure de recharge de VE en Ontario



5 Possibilités pour l'Ontario

À l'heure où l'Ontario accélère sa transition vers les VE, la province se voit offrir une occasion unique de bâtir un réseau de recharge de VE encore plus équitable, efficace et prêt pour l'avenir. Des programmes comme le Programme ontarien pour la recharge des VE et les procédures de raccordement pour la recharge de véhicules électriques ont jeté de solides bases et la prochaine étape consiste à réduire les écarts qui subsistent dans l'accès, à simplifier le déploiement et à dégager une nouvelle valeur des technologies émergentes. Le prochain chapitre porte sur les possibilités suivantes : accès élargi à la recharge dans les immeubles à logements multiples, renforcement des réseaux en régions rurales et éloignées, intégration de la recharge intelligente et de la technologie V2G, simplification du processus d'obtention de permis et participation au marché des VE réunis au moyen d'un agrégateur, pour préparer le terrain à une infrastructure connectée, intelligente et inclusive.



5.1 Élaborer une stratégie d'infrastructure de recharge de VE provinciale pour orienter et harmoniser les initiatives existantes

En élaborant une stratégie d'infrastructure de recharge de VE ciblée, l'Ontario peut mener la transition vers des solutions de transport propres en plus de s'attaquer aux principaux défis liés à la capacité du réseau électrique, à l'urbanisme et à l'accès équitable. Les experts soulignent la valeur d'une stratégie pour la planification et les engagements commerciaux à long terme. Une stratégie bien définie peut servir de feuille de route pour coordonner les investissements, simplifier l'obtention de permis et le déploiement et faire en sorte que le développement de l'infrastructure suit la croissance de l'adoption de VE. Les experts mettent en relief l'importance d'avoir des stratégies de déploiement compatibles avec le réseau et de mettre l'accent sur des solutions qui tiennent à la fois compte du réseau et des utilisateurs finaux.

Une stratégie d'infrastructure de recharge de VE conçue pour l'Ontario peut être particulièrement importante dans les régions à forte densité de population et les IRLM. Une stratégie peut aussi appuyer la décentralisation des réseaux de distribution d'électricité en Ontario, qui compte 59 distributeurs. Dans cet écosystème, les petites sociétés de services publics risquent d'avoir moins de ressources pour s'attaquer de front à la recharge de VE. Les experts mentionnent la possibilité d'intégrer les communications entre les SDL pour simplifier l'écosystème de l'infrastructure de recharge de VE.

Le fait de se concentrer expressément sur l'infrastructure de recharge de VE pourrait aussi grandement contribuer à réduire les coûts, en plus de permettre d'harmoniser les efforts des secteurs public et privé, limiter les recoupements et obtenir plus efficacement du financement. Pour maximiser les investissements, les experts soulignent qu'il faut tenir compte de l'interopérabilité de l'infrastructure durant les efforts pour accroître les capacités de recharge de VE, afin d'offrir des services fiables aux clients et une marche à suivre claire aux SDL, y compris sur leur participation dans le secteur de la recharge de VE. Les experts ajoutent que les besoins en matière de recharge des véhicules à passagers, des gros camions et des dépôts de VE diffèrent considérablement. Il importe de les examiner si l'on souhaite mettre en place une stratégie efficace pour l'infrastructure de recharge de VE.

En outre, la stratégie de l'Ontario doit établir une distinction entre l'infrastructure générale de recharge de VE et les exigences propres à la recharge rapide de niveau 3. Les bornes de recharge rapide, essentielles pour ceux qui parcourent de longs trajets et dans les parcs de véhicules commerciaux et régions urbaines où le roulement est élevé, nécessitent plus d'électricité, des raccordements plus robustes au réseau et des exigences différentes en matière d'emplacement que les bornes de niveaux 1 et 2. Sans approche ciblée, on risque de passer à côté d'importants scénarios d'utilisation et de rater des occasions d'accélérer l'adoption des VE au sein de secteurs percutants.

L'Ontario peut s'inspirer des chefs de file mondiaux. L'AFIR de l'UE impose la mise en place de stations de recharge rapide tous les 60 km le long des principaux corridors et comprend des normes techniques et des échéanciers clairs à cet égard. Cela a ouvert la voie au déploiement accéléré et à l'interopérabilité au sein des États membres. Parallèlement, la stratégie nationale de la Chine lui a permis de mettre en place une infrastructure de recharge de VE de premier plan en misant sur de rigoureux efforts de planification centrale, d'intégration urbaine et d'innovation en matière de technologies d'échange de batterie et de réseau intelligent. Enfin, certains experts recommandent de faire mention des normes ouvertes de recharge de VE pour améliorer l'interopérabilité et veiller à ce que les investissements dans l'infrastructure de recharge de VE soient pérennes.

5.2 Accroître l'accès à la recharge de VE dans les immeubles résidentiels à logements multiples

Comme l'adoption de VE s'accélère en Ontario, il devient de plus en plus important de garantir un accès équitable à l'infrastructure de recharge dans les IRLM. Une partie importante de la population ontarienne habite dans des immeubles en copropriété ou des ensembles d'habitations collectives, où il peut être difficile techniquement et coûteux pour les résidents d'installer leur propre borne de recharge

pour VE. Les experts soulèvent aussi des problèmes de capacité du réseau dans ces régions et d'autres défis rencontrés lors de la mise à niveau des IRLM pour la recharge de VE.

Pour remédier à cette situation, la province pourrait lancer des incitatifs ciblés pour la modernisation des installations d'IRLM existants visant à permettre la recharge de VE. Ces incitatifs pourraient aider à payer les coûts engagés pour l'amélioration des systèmes électriques, l'installation de bornes de recharge et l'obtention de permis; de plus, des conseils techniques sur le processus pourraient être donnés aux gestionnaires immobiliers et aux syndicats de copropriétaires. Parallèlement, l'Ontario pourrait prendre des mesures proactives pour veiller à ce que les nouveaux projets immobiliers soient pérennes en imposant l'installation d'une infrastructure compatible avec les VE dans tous les nouveaux IRLM de la province, comme Toronto le fait avec son règlement de zonage 569-2013. Il serait aussi possible d'encourager les municipalités à adopter des règlements de zonage complémentaires qui soutiennent l'infrastructure de VE dans les zones à forte densité.

Pour s'attaquer aux défis uniques des milieux urbains, où le stationnement est limité et partagé, l'Ontario pourrait appuyer les programmes pilotes de solutions de recharge partagée ou intelligente. Ces programmes pourraient porter sur des modèles novateurs, comme les sites de recharge communautaires, les systèmes d'accès par tranches de temps et les technologies de gestion intelligente de la charge qui permettent à plusieurs utilisateurs de

partager efficacement une borne de recharge. En s'associant avec les services publics, les fournisseurs de technologies et les administrations locales, la province peut mettre à l'essai des solutions évolutives qui rendent la recharge de VE plus accessible dans les milieux urbains denses, pour ainsi remédier au manque d'infrastructure à la disposition des citoyens.

5.3 Continuer à encourager la collaboration entre l'industrie, le gouvernement et le milieu de l'enseignement

Les technologies de recharge intelligente de VE et les innovations en la matière sont indispensables pour préparer la mise en place d'un réseau robuste et tourné vers l'avenir. Comme les intervenants évoluent dans divers domaines, dont la production, le transport et la distribution d'électricité, la vente au détail et la recharge de VE, une collaboration stratégique continue entre les organismes gouvernementaux, les établissements d'enseignement et l'industrie de la recharge de VE est essentielle. Ces intervenants apportent chacun une expertise et des ressources différentes en plus de jouer un rôle important au sein du réseau d'électricité ontarien. L'Ontario fait déjà preuve de leadership grâce à des initiatives telles que le FIR de la SIÈRE. Le ROIV donne également accès à des espaces propices à l'établissement de liens dans le cadre de ses divers programmes, dont le Fonds de partenariats en R-D, le Programme des incubateurs et le réseau de SRDT.

Les universitaires de la province font la démonstration de résultats fort utiles pour les gouvernements et

l'industrie. Par exemple, l'Université technologique de l'Ontario compte en son sein le groupe Smart Transportation Electrification and Energy Research (STEER), qui dirige des travaux de recherche et de développement sur les bornes de recharge filaires et sans fil, les systèmes de stockage d'énergie et les moteurs d'entraînement des VE avec le soutien du gouvernement et des partenaires de l'industrie. Le Programme de chaires d'excellence en recherche du Canada du McMaster Automotive Resource Centre de l'Université McMaster en constitue un autre exemple. Ses travaux de recherche portent sur l'électrification des véhicules, y compris la recharge, la technologie V2X, les systèmes de gestion et de stockage d'énergie, l'électronique de puissance et les convertisseurs courant continu/courant continu d'électronique de puissance.

Une approche multidisciplinaire est propice à l'établissement d'un écosystème intégré qui favorise la résilience du réseau, l'extensibilité et la transition plus vaste vers un réseau de mobilité électrique durable. Les experts mentionnent aussi qu'une collaboration accrue pourrait aider les services publics qui cherchent à utiliser les nouvelles technologies et y accéder de manière sûre sans nuire aux activités du réseau.

De plus, les experts soulignent combien les possibilités de financement, dont les subventions, concourent à l'innovation et le rôle des espaces mis à la disposition de l'industrie, des organismes de réglementation et des services publics dans la recherche axée sur les nouvelles technologies. Des incitatifs peuvent être une source de motivation pour innover et faire des

améliorations dans des espaces positifs, afin d'accroître la rentabilité et l'émergence de nouvelles technologies et solutions au service des consommateurs et du réseau.

5.4 Renforcer les réseaux de recharge en régions rurales et éloignées

Pour assurer un accès équitable à l'infrastructure de recharge de VE en Ontario, il faut s'attaquer aux défis uniques auxquels font face les communautés rurales, nordiques et autochtones. L'Ontario devrait continuer à offrir plus de financement ciblé pour les bornes de recharge publiques dans les régions sous-desservies. Il importe aussi de renforcer les réseaux de recharge ruraux pour remédier à un obstacle de taille à l'adoption de VE, soit l'angoisse de la panne, et de permettre aux conducteurs de VE de parcourir de longues distances dans la province et hors de ses frontières.

En outre, une collaboration avec les services publics locaux, les coopératives d'énergie et les organismes communautaires est primordiale pour déterminer les endroits les plus judicieux pour les nouvelles bornes. Ces parties prenantes connaissent très bien les habitudes de déplacement, la capacité du réseau et les besoins communautaires à l'échelle locale. En les faisant collaborer, la province peut s'assurer de la faisabilité technique et des avantages pour la société des investissements dans l'infrastructure. Dans les régions particulièrement éloignées ou hors réseau, l'Ontario pourrait explorer des solutions

de recharge innovantes, comme les unités de recharge mobile, les stations alimentées à l'énergie solaire ou les systèmes à batterie tampon qui ne dépendent pas d'une connectivité complète au réseau. Ces modèles pourraient être mis à l'essai en partenariat avec des communautés autochtones et des fournisseurs de technologies propres dans le cadre de programmes pilotes pour aider à renforcer la capacité locale et faire en sorte qu'aucune région ne soit écartée de la transition vers les VE.

5.5 Intégrer des technologies de recharge intelligente et V2G

L'intégration de technologies de recharge intelligente et V2G offre l'occasion d'accroître l'efficacité du réseau, de réduire les coûts d'énergie et de rendre le réseau d'électricité plus résilient. Les experts ajoutent qu'il est important de tirer parti des technologies intelligentes, des données et d'une collaboration entre l'industrie et les services publics pour en arriver à répondre à la demande croissante d'électricité et issue de la recharge de VE en optimisant la capacité et la production d'énergie.

Des solutions de recharge de VE et de réseaux plus intelligentes peuvent contribuer à une utilisation plus efficace des services publics. Faire fonctionner des centrales de pointe par intermittence et dans le but de maintenir la capacité, par exemple lors de canicules, coûte cher. De plus, les centrales de pointe sont peu utilisées, mais comme elles fonctionnent généralement au gaz naturel, elles produisent beaucoup d'émissions.

Le fait d'en faire un usage limité aide à réduire les émissions. Pour accroître la capacité de production d'énergie, il faut investir des sommes considérables dans des projets qui s'échelonnent sur plusieurs années.

Les technologies intelligentes peuvent aider à réduire la demande de pointe et la pression sur le réseau en plus d'améliorer l'intégration de sources d'énergies renouvelables intermittentes. Selon les experts, il existe actuellement une lacune en matière de recharge bidirectionnelle, à savoir le peu d'intérêt démontré par les grandes sociétés qui desservent d'importants parcs de VE, où la technologie est encore peu employée. Pour tirer parti de ces avantages, l'Ontario peut continuer à appuyer les projets pilotes qui mettent la technologie V2G à l'essai dans divers environnements, comme les parcs de véhicules commerciaux, les lieux de travail et les quartiers. Les parcs d'autobus scolaires ou les véhicules de livraison qui sont stationnés pendant de longues périodes se prêteraient fort bien à des essais axés sur la V2G. Ces projets pilotes contribueraient à cerner les obstacles de nature technique, économique et comportementale tout en fournissant des données utiles pour orienter un déploiement à plus grande échelle.

Parallèlement, la province pourrait collaborer avec les organismes de réglementation et les autres parties prenantes à l'élaboration de normes et de cadres réglementaires clairs en matière de recharge bidirectionnelle. Ces efforts serviront notamment à définir les exigences d'interconnexion,

les protocoles de sécurité et les modes de rémunération pour la restitution d'énergie au réseau. Enfin, l'Ontario peut continuer à offrir des programmes de tarification dynamique ou de gestion de la demande qui récompensent les propriétaires de VE qui rechargent leur véhicule lorsque la demande est faible ou réduisent la charge en périodes de pointe. Utilisés avec des bornes de recharge intelligentes, ces programmes peuvent automatiser l'utilisation d'énergie, au profit des consommateurs et du réseau. Les experts ajoutent qu'une adéquation entre les indicateurs financiers et les besoins du réseau peut aider l'Ontario à accélérer l'adoption de technologies de recharge intelligente tout en poursuivant ses grands objectifs de décarbonation et d'électrification

5.6 Simplifier les processus d'obtention de permis et d'interconnexion

Les procédures de raccordement pour la recharge de véhicules électriques ont joliment préparé le terrain à la normalisation de l'installation et du raccordement au réseau des bornes de recharge de VE, mais une simplification s'impose pour accélérer le déploiement et réduire les goulots d'étranglement administratifs. Il serait possible de créer une plateforme numérique centralisée de style « guichet unique » pour l'obtention de permis à partir de laquelle les promoteurs, les municipalités et les services publics pourraient gérer les demandes, les approbations et les inspections. Cette plateforme permettrait de suivre le statut en temps réel, de téléverser des documents et de recevoir des notifications automatiques, ce qui contribuerait

grandement à réduire les délais et à améliorer la transparence du processus d'obtention de permis. De plus, la province pourrait offrir une assistance technique et du soutien en renforcement des capacités aux municipalités et aux petites sociétés de services publics qui ne disposent pas des ressources ou des compétences pour traiter efficacement les demandes liées à la recharge de VE.

En Ontario, il faut suivre un processus en six étapes pour raccorder une nouvelle installation au réseau, qui prend en général de 3 à 5 ans. Le nouveau Plan intégré de l'énergie de l'Ontario recommande notamment d'examiner les procédures et les délais de raccordement au réseau et d'étudier la possibilité d'établir des normes de rendement pour les sociétés concernées. Certaines mesures ont déjà été mises en œuvre : en 2024, la CEO a publié des procédures normalisées de raccordement pour la recharge de véhicules électriques assorties de calendriers et d'exigences qui s'appliquent à toutes les compagnies d'électricité locales et remplacent les procédures disparates que suivaient jusqu'à maintenant 58 services publics locaux. Les procédures sont donc plus claires et prévisibles à la fois pour les promoteurs et les services publics, ce qui aide à harmoniser les attentes et à réduire les incertitudes relatives aux projets. Les experts ajoutent que des efforts pour simplifier les processus d'interconnexion contribueraient à accélérer le déploiement de l'infrastructure de recharge pour VE.

5.7 Permettre aux VE d'intégrer le marché par agrégation et en procédant à une réforme de la réglementation

L'intégration au marché constitue l'une des plus importantes possibilités de transformation de l'écosystème de VE en Ontario; plus précisément, il s'agit de permettre la participation des VE réunis au moyen d'un agrégateur ou des agrégateurs tiers aux marchés de l'électricité administrés par la SIERE. Ainsi, les parcs de VE pourraient servir de RED et fournir des services en matière de capacité, de régulation de la fréquence et de gestion de la demande. Aux États-Unis, le décret n° 2222 de la Federal Energy Regulatory Commission contribue déjà à ce virage en exigeant des exploitants de réseau d'électricité d'autoriser les regroupements de RED à soumissionner sur les marchés de gros. L'Ontario emboîte le pas avec l'initiative en matière de RED de la SIERE intitulée DER Market Vision and Design Project.

Dans cette feuille de route, la SIERE énonce l'objectif de mettre en place d'ici 2026 des modèles de participation élargie aux marchés de gros en vertu desquels les RED, y compris les VE, pourront fournir les services qu'ils sont techniquement en mesure d'offrir. Ces efforts comprennent l'élaboration de nouveaux modèles de participation, de protocoles de collaboration entre la SIERE et les SDL et de cadres pour les solutions de recharge

non filaires. Ils sont essentiels pour exploiter pleinement la valeur des VE comme actifs du réseau, maintenant qu'ils sont de plus en plus nombreux et que leur capacité collective de stockage d'énergie augmente. Dans un avenir rapproché, rien ne dit qu'un agrégateur qui gère une dizaine de milliers de VE ne pourra pas contribuer à réduire la demande de plusieurs mégawatts lors d'une enchère de capacité ou à réguler la fréquence en modulant les modèles de recharge en temps réel.

Pour ce faire, l'Ontario devra établir des cadres réglementaires clairs en matière d'agrégation. De plus, une coordination entre la SIERE, la CEO et les services publics sera nécessaire pour que la participation des VE réunis par un agrégateur ne compromette pas la fiabilité du réseau ni la protection des renseignements personnels des clients. En considérant les VE à la fois comme des ressources de transport et des participants actifs du réseau, l'Ontario peut offrir de nouvelles sources de revenus et inciter du coup les propriétaires de VE à servir d'appoint au réseau, à améliorer la flexibilité du réseau et à réduire le besoin de faire des mises à niveau coûteuses de l'infrastructure. Cette nouvelle approche marquerait une étape importante dans la transition énergétique de la province.

5.8 Renforcer la confiance des consommateurs au moyen de solutions fondées sur les données

Si le nombre de bornes de recharge publiques installées est généralement connu, il manque de données sur le fonctionnement ou le temps de disponibilité de ces appareils. Les adopteurs précoces de VE sont plus enclins à accepter les défaillances occasionnelles des bornes de recharge, mais il importe de faire en sorte que la recharge soit fiable et conviviale pour renforcer la confiance des consommateurs et inciter un grand nombre d'entre eux à faire la transition. Même si les tentatives de recharge infructueuses découlent fréquemment d'erreurs de la part des utilisateurs, elles peuvent aussi être causées par des problèmes techniques occasionnés par des véhicules non compatibles ou la défaillance du système dorsal. Les conditions ambiantes, en particulier les conditions météorologiques extrêmes dans les pays comme le Canada, peuvent avoir une forte incidence sur l'efficacité et la demande d'énergie, et façonner ce faisant les modèles d'utilisation.

Les experts ont souligné l'importance des renseignements sur la capacité dans le maintien de réseaux de recharge efficaces et faibles, surtout dans les milieux urbains. L'utilisation des cartes de capacité interactives publiées en ligne par les services publics de l'Ontario contribuera à la fiabilité de l'électrification dans la province, y compris la recharge de VE. Les experts ajoutent que ces informations aideront à attirer des investisseurs directs étrangers en mettant à leur disposition des données claires et accessibles;

ainsi, l'écosystème de l'infrastructure de recharge de VE pourra se développer afin de répondre aux besoins des clients.

5.9 Poursuivre la constitution de la main-d'œuvre d'aujourd'hui et de demain

Tandis que l'Ontario continue de se positionner comme un chef de file en électrification des transports, il doit reconnaître que le développement d'une main-d'œuvre qualifiée et prête pour l'avenir est à la fois une nécessité stratégique et une occasion importante à saisir. Le développement de la main-d'œuvre ne consiste pas seulement à les préparer pour l'avenir; il s'agit aussi de répondre aux besoins immédiats d'une industrie qui évolue rapidement. Les experts jugent importants de doter les jeunes d'aujourd'hui des compétences nécessaires pour comprendre et utiliser les technologies émergentes, qui seront particulièrement essentielles pour conserver et créer des emplois dans la province. Ces efforts peuvent également aider à faire de l'Ontario un chef de file dans la fabrication et les exportations qui touchent l'infrastructure de recharge de VE. La Stratégie et feuille de route en matière de talents du ROIV contribue de belle façon aux efforts ci-dessus. Initiative provinciale, elle garantit un développement de talents qui répond à l'évolution des besoins des secteurs de l'automobile et de la mobilité. Il est ainsi possible d'adapter le bassin de talents de l'Ontario en fonction de la transformation qui s'opère dans ces secteurs. En cernant les principales lacunes en matière de compétences et les débouchés à venir, la feuille de route facilite la planification stratégique dans les

domaines de l'éducation, de la formation et de l'emploi, et contribue à la constitution d'une main-d'œuvre résiliente et compétitive, capable de répondre aux exigences de l'électrification et de la mobilité intelligente.

En guise d'exemple concret de réussite, les experts mentionnent les programmes axés sur la main-d'œuvre tels que le Programme de développement des talents du ROIV, qui est très utile pour les organisations qui souhaitent embaucher des stagiaires ou des boursiers en vue d'une participation directe à leurs activités ou projets. Ces programmes concourent grandement à la transition de la main-d'œuvre, qui peut s'avérer difficile tant pour les employés que pour les employeurs. Veiller à ce que les personnes en début de carrière de l'Ontario aient accès à des débouchés après leurs études peut aussi contribuer à les conserver dans la province ainsi qu'au développement des économies locales et à l'essor des industries de la province. Les experts estiment que le maintien en poste de la main-d'œuvre représente une solution pour la province et recommandent de mettre en valeur les avantages, autres que ceux de nature financière, qui font de l'Ontario un endroit où il fait bon vivre et travailler. Le fait de décrire de manière convaincante les attraits de l'Ontario pour les résidents et les travailleurs peut contribuer à la constitution d'une main-d'œuvre résiliente et engagée.

Tant la main-d'œuvre actuelle que celle de demain doivent acquérir des compétences et des connaissances. Pour appuyer ceux qui débutent dans le domaine, les experts recommandent aux universités

d'examiner la possibilité d'intégrer à leurs programmes d'études actuels des cours axés sur les réseaux intelligents et d'autres technologies du réseau, comme les SSEB. L'occasion qui se présente à l'Ontario réside dans sa capacité à façonner de manière proactive une main-d'œuvre qui, en plus de répondre aux besoins actuels, est prête à relever les défis de demain. En continuant de soutenir l'éducation, la formation et le maintien en poste de la main-d'œuvre, la province peut consolider son leadership en électrification et devenir une plaque tournante mondiale de l'innovation en recharge de VE.

6 Glossaire

AFC	Corridors pour l’approvisionnement en carburants de remplacement (<i>alternative fuel corridors</i>)
AFIR	Règlement sur le déploiement d’une infrastructure pour carburants alternatifs
AIE	Agence internationale de l’énergie
BTM	Derrière le compteur (<i>behind-the-meter</i>)
CA	Courant alternatif
CaaS	Recharge en tant que service (<i>Charging-as-a-Service</i>)
CC	Courant continu
CEO	Commission de l’énergie de l’Ontario
CHAdemo	Norme de recharge rapide japonaise (CHArge de MOve)
CTT	Commission de transport de Toronto
CV	Centrale virtuelle
DIVE	Démonstration d’infrastructure pour véhicules électriques
EVCCP	Procédures de raccordement pour la recharge des véhicules électriques (<i>Electric Vehicle Charging Connection Procedure</i>)
FHC	Tarifs selon l’heure de consommation
FIR	Fonds d’innovation pour le réseau

IA	Intelligence artificielle
ICA	Infrastructure relative aux compteurs avancés
IRLM	Immeubles résidentiels à logements multiples
IRR	Infrastructure de recharge et de ravitaillement
kV	Kilovolt
kVA	Kilovoltampère
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattheure
MCI	Moteur à combustion interne
MVA	Mégavoltampère
MW	Mégawatt
kV	Système de recharge nord-américain (<i>North American Charging System</i>)
kVA	Normes nationales américaines relatives à l'infrastructure des véhicules électriques
kW	Tarifs d'électricité de nuit, très bas
OCPI	Protocole Open Charge Point Interface
OPG	Ontario Power Generation
OZEV	Office des véhicules à émission zéro du Royaume-Uni

PCPR	Règlement sur les bornes de recharge publiques du Royaume-Uni (<i>Public Charge Point Regulations</i>)
PIVEZ	Programme d’infrastructure pour les véhicules à émission zéro
R.-U.	Royaume-Uni
RED	Ressources énergétiques décentralisées
REP	Règlement sur l’électricité propre
RNCan	Ressources naturelles Canada
RTE-T	Réseau transeuropéen de transport
SaaS	Stockage à la demande (<i>Storage-as-a-Service</i>)
SDL	Sociétés de distribution locales
SGRED	Systèmes de gestion des ressources énergétiques décentralisées
SGSDC	Système de gestion et de stockage des données de comptage (<i>Meter Data Management/Repository</i>)
SIERE	Société indépendante d’exploitation du réseau d’électricité
SRC	Système de recharge combiné
SRDT	Site régional pour le développement des technologies
SSEB	Système de stockage d’énergie par batterie
TRG	Tarifs de rachat garantis
TWh	Térawattheure

UE	Union européenne
V2B	Échange d'énergie véhicule-bâtiment
V2G	Échange d'énergie véhicule-réseau
V2H	Échange d'énergie véhicule-maison
V2L	Échange d'énergie véhicule-charge
V2V	Échange d'énergie de véhicule à véhicule
V2X	Échange d'énergie entre un véhicule et n'importe quel appareil
VA	Véhicule autonome
VE	Véhicule électrique
VEB	Véhicule électrique à batterie
VEZ	Véhicule à émission zéro
VHR	Véhicule hybride rechargeable

7. L'équipe du ROIV



Raed Kadri
Vice-président, Initiatives
stratégiques et développement
des activités, directeur du
Réseau ontarien d'innovation
pour les véhicules (ROIV)
rkadri@oc-innovation.ca



Mona Eghanian
Vice-présidente adjointe
et sous-directrice
meghanian@oc-innovation.ca



Emma Kadede
Coordonnatrice d'équipe
ekadede@oc-innovation.ca



Hazel Lo
Adjointe administrative
hlo@oc-innovation.ca

Équipe de développement sectoriel et régional



Dan Ruby
Directeur du développement
sectoriel et régional
druby@oc-innovation.ca



Patrick Farrer
Gestionnaire, Programme
des incubateurs du ROIV
pfarrer@oc-innovation.ca



John George
Responsable sectoriel
jgeorge@oc-innovation.ca



Corey Shenken
Responsable régional, Innovation
cshenken@oc-innovation.ca



Fredrik Andersson
Responsable régional, Innovation
fandersson@oc-innovation.ca

Équipe de développement des talents et de la main-d'œuvre



Tara J. Remedios
Directrice, Stratégie en matière
de talents et planification de
la main-d'œuvre
tremedios@oc-innovation.ca



Alèque Juneau
Gestionnaire, Stratégie en
matière de main-d'œuvre et de
talents
ajuneau@oc-innovation.ca



Carli Fink
Stratège, Stratégie en matière de
talents et planification de la main-
d'œuvre
cfink@oc-innovation.ca



Rodayna Abuelwafa
Cheffe de projet,
Développement des
compétences
rabuelwafa@oc-innovation.ca



Curtis Lundgren
Chef de projet,
Planification de la main-
d'œuvre et talents
clundgren@oc-innovation.ca



Gowri Prakash
Cheffe de projet technique
gprakash@oc-innovation.ca

Équipe de développement organisationnel et des partenariats stratégiques et internationaux



Greg Gordon
V.-p. adj., Développement
organisationnel, partenariats
stratégiques et internationaux
ggordon@oc-innovation.ca



Joelle Monje
Responsable, Partenariats stratégiques
jmonje@oc-innovation.ca

Équipe de la stratégie et des programmes



Digvijay Mehra
Directeur, Stratégie et
programmes, ROIV
dmehra@oc-innovation.ca



Stephanie Rodrigues
Responsable, Initiatives
stratégiques
srodrigues@oc-innovation.ca



Shane Daly
Gestionnaire du portefeuille
de programmes
sdaly@oc-innovation.ca



Natalia Rogacki
Gestionnaire du portefeuille
de programmes (en congé)
nrogacki@oc-innovation.ca



William To
Gestionnaire du portefeuille
de programmes
wto@oc-innovation.ca



Romelle Maluto
Gestionnaire du portefeuille
de programmes
rmaluto@oc-innovation.ca



Sanhita Guin
Gestionnaire du portefeuille
de programmes
sguin@oc-innovation.ca



Homeira Afshar
Analyste de la
recherche et des
données
hafshar@oc-innovation.ca



Jesurun Ramesh
Responsable des
incubateurs du ROIV
jramesh@oc-innovation.ca



Priyanka Sharma
Spécialiste des programmes
psharma@oc-innovation.ca

8 Avis de non-responsabilité

Le présent rapport a été rédigé par Arup Canada Inc. pour le compte du Centre d'innovation de l'Ontario à la suite d'une demande de propositions intitulée « Ontario Vehicle Innovation Network (OVIN) – Annual Comprehensive Sector Report & Quarterly Specialized Reports » datée du 3 octobre 2024. Il fait partie d'une série de cinq rapports dressant un portrait analytique des technologies automobiles, des véhicules électriques et de la mobilité intelligente en Ontario qui intègre des facteurs liés au paysage des compétences et des talents du secteur.

Les renseignements contenus dans ce rapport sont d'ordre général et le CIO ne fournit aucun conseil ou service professionnel au moyen de la présente publication. Par conséquent, les lecteurs sont invités à ne pas se fier indûment à ce rapport et à faire preuve de diligence raisonnable, notamment en effectuant des recherches et des analyses, avant de prendre des décisions à la lumière du rapport ou des mesures qui peuvent avoir une incidence sur leur entreprise ou sur leurs finances.

Aucune déclaration, aucune garantie, ni aucun engagement (explicite ou implicite) n'est donné quant à l'exactitude ou à l'exhaustivité des informations contenues dans le présent rapport. Le CIO ne peut être tenu responsable de toute perte ou de tout dommage, quel qu'il soit, survenant directement ou indirectement, en relation avec toute personne se fiant à la présente publication.

Les images protégées par le droit d'auteur ne peuvent être utilisées sans un accord écrit explicite. Il convient de les traiter comme des illustrations générales, et non comme une représentation exacte du propos.

© CIO, 2025 Tous droits réservés.

