

La position unique de l'Ontario : le matériel électronique et les semi-conducteurs et leur rôle dans le secteur de l'automobile et de la mobilité

Rapport spécialisé trimestriel



Table des matières

1. **Aperçu du matériel électronique et des semi-conducteurs et de leur utilisation dans l'industrie automobile**
2. **Tendances mondiales dans le secteur des semi-conducteurs**
3. **La position unique de l'Ontario au sein du secteur des semi-conducteurs**
4. **Possibilités à saisir par l'Ontario dans le secteur des semi-conducteurs**
5. **Glossaire**
6. **À propos du ROIV**

Sommaire

Les semi-conducteurs jouent un rôle primordial dans la vie d'aujourd'hui, en facilitant les progrès dans de nombreux domaines, dont le transport, les communications, l'informatique, les jeux, les soins de santé, les systèmes militaires et l'énergie propre. Ils sont des composants essentiels de tous les dispositifs électroniques, qui en ont besoin pour traiter, stocker et transmettre des données. De plus, ils occupent une place particulièrement importante au sein du secteur de l'automobile et de la mobilité.

Le cycle de vie complet des semi-conducteurs implique une vaste gamme de processus allant de l'extraction, du traitement et du raffinage des matières premières au conditionnement des semi-conducteurs. Par conséquent, il faut faire appel à un large éventail d'acteurs pour que cet écosystème fonctionne de manière cohérente.

Le secteur des semi-conducteurs est appelé à connaître une forte croissance dans les années à venir avec l'émergence de technologies telles que l'intelligence artificielle (IA), l'Internet des objets (IdO) et l'apprentissage machine (AM), qui offrent de nouvelles possibilités de développement des marchés¹. La taille de l'industrie devrait atteindre un billion de dollars américains d'ici 2030². Seulement dans le secteur de l'automobile, la demande de semi-conducteurs est appelée à tripler d'ici 2030, pour représenter un marché de 150 milliards de dollars américains, en raison de la demande croissante de véhicules électriques (VE)³. Compte tenu de cette croissance du marché, le secteur mondial des semi-conducteurs aura besoin d'environ un million de travailleurs qualifiés de plus d'ici 2030⁴.

La chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs est un réseau fragile et fort complexe susceptible d'être vulnérable aux événements mondiaux tels que les phénomènes météorologiques extrêmes et les tensions géopolitiques⁵, car la fabrication de semi-conducteurs est très concentrée dans quelques pays à l'heure actuelle. Le secteur fait également face à des défis liés à ses effets sur le climat, à la lumière de ses émissions de carbone et de sa forte consommation d'eau, et à la transition nécessaire à une économie à faibles émissions.

L'Ontario compte plusieurs organisations et installations qui jouent un rôle central dans l'essor du secteur des semi-conducteurs au Canada. La province est une plaque tournante de la conception de semi-conducteurs, depuis que des entreprises comme Teledyne DALSA et Onsemi ont choisi de s'y établir. Sans compter que le seul incubateur et laboratoire canadien axé sur les semi-conducteurs, la Hardware Catalyst Initiative du ventureLAB, est aussi implanté en Ontario. ventureLAB fait partie des sites régionaux pour le développement des technologies (SRDT) du ROIV, des installations que les PME peuvent utiliser pour procéder au développement, à l'essai et au prototypage de leurs technologies automobiles avancées et de leurs solutions de mobilité intelligente et tirer parti de conseils, d'expertise et de connaissances liées aux principaux domaines d'intérêt du secteur de l'automobile et de la mobilité. Le centre de conception de la Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) se trouve également dans la province. Par ailleurs, l'Ontario est à l'avant-garde de la recherche sur les semi-conducteurs, grâce à plusieurs programmes de recherche en électronique de premier plan, dont ceux de l'Université de Waterloo et de l'Université de Toronto.

L'Ontario occupe une position unique pour être un acteur clé de la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs. La province est dotée d'un savoir-faire technique recherché et des dépendances industrielles essentielles dans les secteurs de l'automobile et de la fabrication de pointe. L'Ontario peut jouer un rôle important dans le domaine des semi-conducteurs, en misant sur son secteur de l'automobile robuste, qui relie les fabricants de puces, de VE et de technologies de pointe de l'automobile et de la mobilité.

Ce rapport donne un aperçu des semi-conducteurs et met en relief leur rôle dans l'industrie automobile en plus d'examiner les forces existantes de l'Ontario dans la chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs. Il traite aussi des tendances mondiales au sein de l'écosystème élargi des semi-conducteurs et cerne les occasions pour l'Ontario d'asseoir sa place de participant indispensable à plusieurs étapes du cycle de vie des semi-conducteurs.

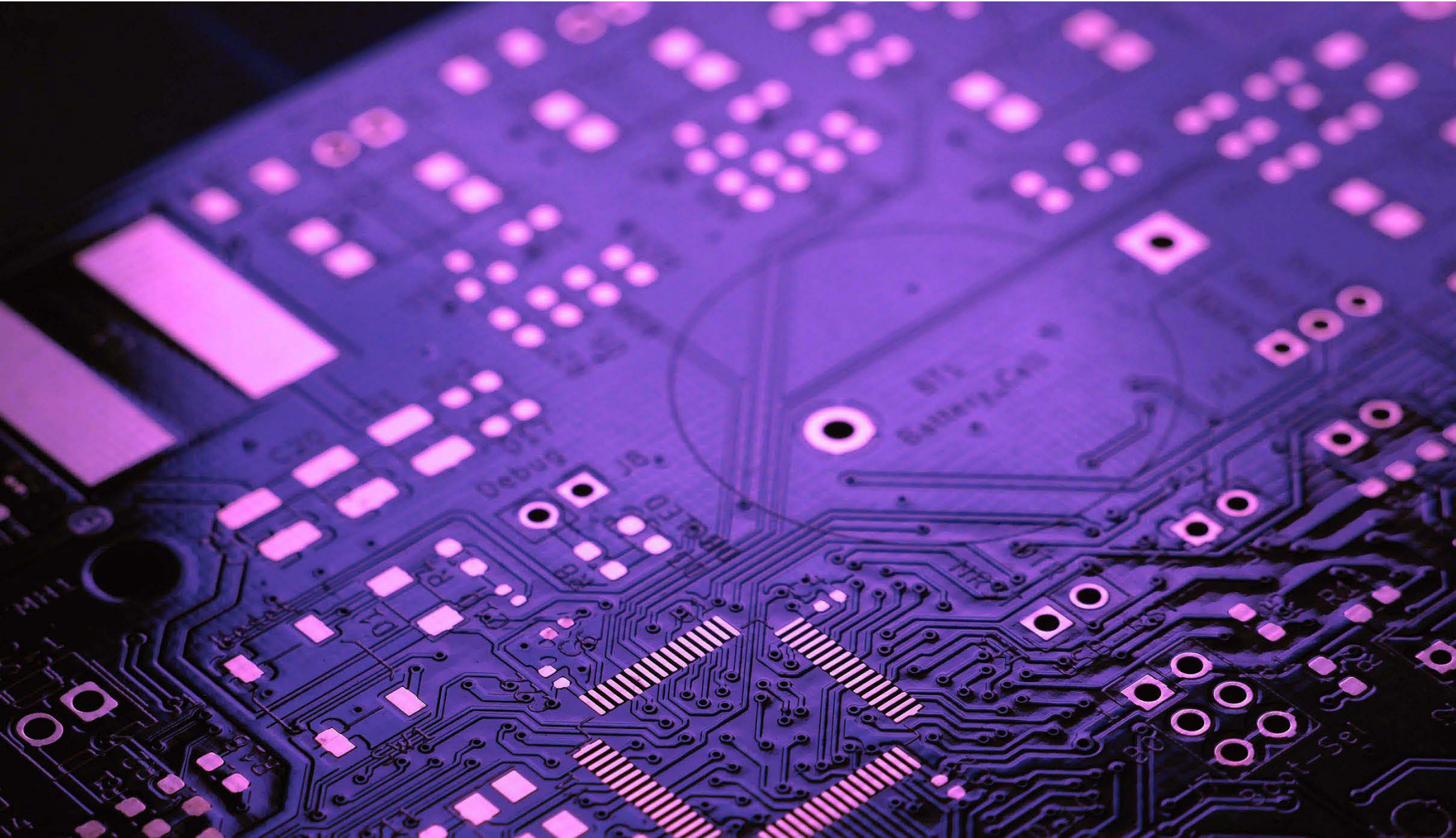


“

« Le Canada possède le talent, la capacité et les outils nécessaires à la croissance et à l’expansion dans le domaine du matériel informatique et des semi-conducteurs. Les avantages de la croissance de ce secteur vital sont nombreux et comprennent la création de bons emplois, la stimulation de l’économie et la distinction sur le marché mondial⁶. »

— L’honorable Mélanie Joly, ministre des Affaires étrangères

1. Aperçu du matériel électronique et des semi-conducteurs et de leur utilisation dans l'industrie automobile



Résumé du chapitre

On retrouve les semi-conducteurs dans pratiquement tous les produits électroniques. Leur cycle de vie repose sur le maintien d'un judicieux équilibre de processus et d'acteurs. La présente section définit ce que sont les semi-conducteurs et présente les processus en jeu à chacune des étapes du cycle de vie des semi-conducteurs pour faciliter la compréhension de cet écosystème complexe.

Elle aborde également à quelles fins les semi-conducteurs sont utilisés au sein de l'industrie automobile et les avantages qui en sont retirés.

Introduction aux semi-conducteurs

Les semi-conducteurs sont des ensembles de circuits électroniques miniaturisés formés de composants discrets actifs (transistors, diodes), de composants passifs (condensateurs, résistances) et des interconnexions entre ces éléments, disposés en plusieurs couches sur une fine tranche de matériau semi-conducteur⁷. Les puces à semi-conducteur modernes sont minuscules, de sorte que les dispositifs électroniques sont de plus en plus petits et compacts.

Les semi-conducteurs peuvent être fabriqués à partir d'éléments à l'état pur, comme le silicium ou le germanium, ou de composés tels que l'arséniure de gallium⁸. La conductibilité des semi-conducteurs, aussi appelés « circuits intégrés » ou « puces », peut être modifiée par le dopage, un processus qui consiste à introduire de très faibles quantités d'impuretés, pour répondre aux besoins du dispositif électronique⁹.

Les semi-conducteurs se prêtent à un grand nombre d'utilisations, que l'on peut regrouper dans trois catégories :

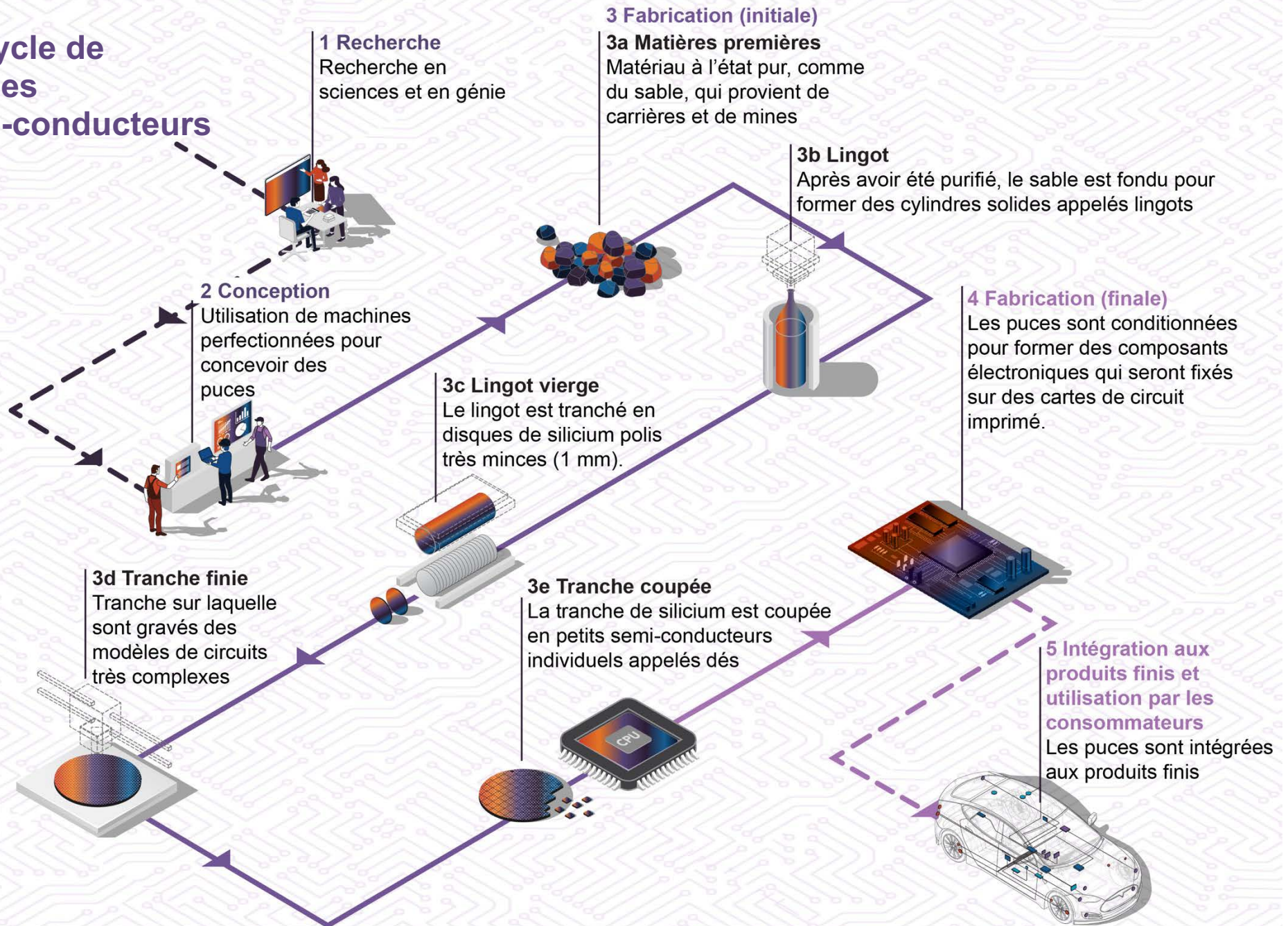
- **Composants logiques** – ils sont le « cerveau » informatique, fonctionnant à l'aide de codes binaires (0 et 1).
- **Composants de mémoire** – ils stockent l'information nécessaire aux opérations de calcul,
- **Composants distincts, analogiques et autres (DAO)** – ils transmettent, reçoivent et transforment l'information qui se rapporte à des paramètres continus tels que la température et la tension¹⁰.

Cycle de vie des semi-conducteurs

La fabrication de semi-conducteurs commence en général par une phase de recherche et de conception, qui est suivie par la production des tranches de silicium. Ces tranches de silicium sont ensuite conditionnées, en vue de leur intégration au produit fini. Voici un aperçu du cycle de vie des semi-conducteurs :

1. **Recherche** – recherche fondamentale en sciences et en génie pour garantir l'innovation et la concurrence.
2. **Conception** – utilisation de machines perfectionnées pour concevoir des puces destinées à des produits à usage général ou spécifique.
3. **Fabrication (initiale)** – production des tranches de silicium, qui sont ensuite subdivisées en puces.
 - a. **Matières premières** – Matériau à l'état pur, comme du sable, qui provient de carrières et de mines.
 - b. **Lingot** – Après avoir été purifié, le sable est fondu pour former des cylindres solides appelés lingots.
 - c. **Tranche vierge** – Le lingot est tranché en disques de silicium polis très minces (1 mm).
 - d. **Tranche finie** – Tranche sur laquelle sont gravés des modèles de circuits très complexes.
 - e. **Tranche coupée** – La tranche de silicium est coupée en petits semi-conducteurs individuels appelés dés¹¹.
4. **Fabrication (finale)** – Les puces sont conditionnées pour former des composants électroniques qui seront fixés sur des cartes de circuit imprimé.
5. **Intégration aux produits finis et utilisation par les consommateurs** – Les puces sont intégrées aux produits finis par les fabricants d'équipement d'origine (FEO) et les fournisseurs de services de fabrication de matériel électronique (EMS) et les produits finis sont expédiés aux entreprises, aux détaillants et aux consommateurs partout dans le monde¹².

Le cycle de vie des semi-conducteurs



Les semi-conducteurs et leur utilisation dans l'industrie automobile

Les semi-conducteurs sont essentiels à diverses fonctions au sein de l'industrie automobile, dont l'aide à la conduite, l'électrification, la communication et le divertissement. Selon les estimations, on retrouve en moyenne plus de 1 000 puces à semi-conducteur dans une voiture non électrique¹³. Les véhicules hybrides électriques contiennent quant à eux plus de 3 500 semi-conducteurs¹⁴. L'augmentation de la demande de VE et de technologies de pointe de l'automobile et de la mobilité, comme les véhicules connectés et autonomes (VCA), ira de pair avec celle de semi-conducteurs.

Les avantages de la technologie des semi-conducteurs pour l'industrie automobile

Les semi-conducteurs offrent divers avantages à l'industrie automobile, à commencer par leur capacité à améliorer la sécurité. Ils permettent d'activer des fonctions, notamment pour avertir les conducteurs en cas de déviations du véhicule par rapport à sa voie, et des systèmes de freinage automatique d'urgence, de prévention des collisions, de surveillance des angles morts et de commande des coussins gonflables.

L'intégration de semi-conducteurs aux voitures permet aussi d'améliorer la connectivité dont les conducteurs ont besoin pour se servir de fonctions, comme tracer des itinéraires et identifier les routes fermées à l'aide du système GPS embarqué et trouver un stationnement¹⁵.

En plus de contribuer à la sécurité et à la connectivité, les semi-conducteurs soutiennent diverses fonctions des systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS), comme le régulateur de vitesse, la direction active et les caméras et capteurs d'aide au stationnement. Ainsi, les semi-conducteurs servent d'intermédiaires entre les solutions logicielles et fonctions véhiculaires des voitures d'aujourd'hui¹⁶.

Il est également possible d'utiliser les semi-conducteurs dans les systèmes de commande du moteur, tant dans les véhicules dotés d'un moteur à combustion interne (MCI) que dans les véhicules hybrides. Intégrés aux véhicules à MCI, ils rendent la commande du moteur plus précise, ce qui se traduit par une réduction de la consommation de carburant et des émissions. Dans les véhicules hybrides, ils gèrent l'efficacité de la combustion de carburant et emmagasinent dans les batteries des véhicules électriques l'énergie produite par les systèmes de freinage régénératif¹⁷.

Les semi-conducteurs des VE favorisent un haut rendement, en limitant considérablement les pertes de puissance, car ils s'éteignent et se rallument des milliers de fois par seconde. Cela permet de prolonger la durée de vie des batteries et l'autonomie¹⁸.

Les semi-conducteurs ont aussi favorisé l'apparition de nouvelles fonctions, comme des systèmes d'éclairage à DEL plus écoénergétiques, la recharge sans fil et les appels en mode mains libres, et de capacités de haute technicité, dont celles requises pour les véhicules autonomes. À mesure que l'innovation et l'évolution de l'industrie se poursuivent, les semi-conducteurs continueront d'être utilisés pour créer de nouvelles fonctions et capacités.

Les semi-conducteurs et leur utilisation dans les voitures

Infodivertissement

- Audio/vidéo
- Écran d'affichage
- Navigation



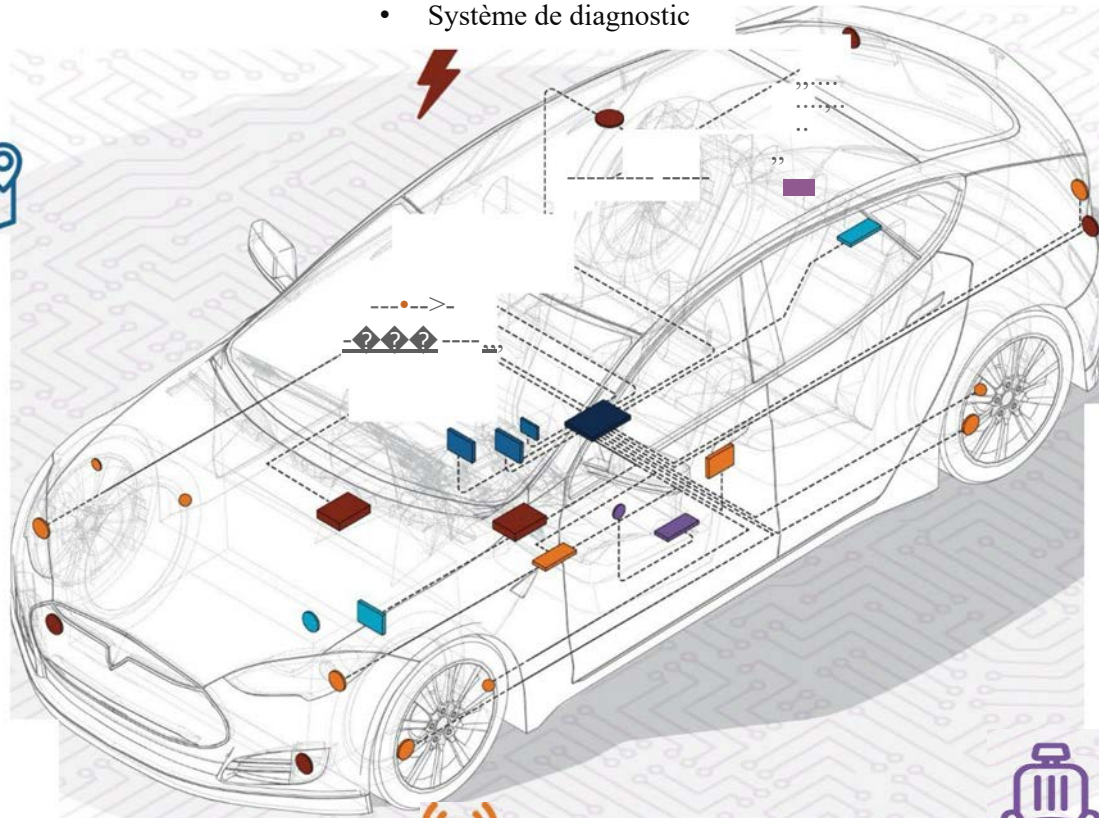
Électrique

- Démarreur
- Système d'éclairage
- Système de diagnostic



Groupe motopropulseur

- Commande du moteur
- Système d'injection
- Commande électrique / hybride
- Commande de la transmission



Connectivité

- Réseau CAN, large bande, Wi-Fi,
- Bluetooth
- Mise à jour des logiciels par radiocommunication



Sécurité

- Commandes des coussins gonflables
- Verrouillage électrique de portes
- Prévention des collisions
- Aide au stationnement
- Assistance au freinage d'urgence
- Système de surveillance de la pression des pneus
- Système d'antipatinage

Confort

- Commandes des vitres et rétroviseurs
- Commandes des sièges
- Climatiseur



2. Tendances mondiales dans le secteur des semi-conducteurs



Résumé du chapitre

À mesure que la transition vers des énergies propres avancera, la demande de semi-conducteurs devrait exploser, car ils se prêtent à une vaste gamme d'utilisations dans les VE, les technologies automobiles de pointe, les solutions de mobilité et les composants électriques destinés au secteur des énergies renouvelables. Dans ce contexte, plusieurs grandes tendances façonnent l'avenir du secteur des semi-conducteurs. Elles sont présentées ci-dessous.

Diversification de la chaîne d'approvisionnement

À l'échelle mondiale, les semi-conducteurs devraient représenter un marché d'un billion de dollars américains d'ici 2023, mais les activités liées aux semi-conducteurs sont présentement fortement concentrées dans un petit nombre de pays et d'entreprises. Cela est attribuable à la grande complexité technique des puces et au besoin d'investir massivement dans la R-D et les immobilisations¹⁹. Cette concentration limite l'accès aux puces et nuit à la résilience du secteur, comme en témoigne la pénurie de puces de 2020 à 2022, qui a forcé l'industrie automobile à reporter ses plans de production²⁰. À cause de cette situation, les décideurs du monde entier prennent des mesures pour accroître l'autonomie de leur capacité industrielle intérieure, tout en reconnaissant qu'ils devront dépendre dans une certaine mesure des capacités de fabrication d'autres pays²¹.

Les dirigeants du secteur des semi-conducteurs ont nommé parmi leurs grandes attentes opérationnelles le besoin d'accroître la diversité géographique de la chaîne d'approvisionnement afin de la rendre plus agile et résiliente²². Une chaîne d'approvisionnement qui repose à la fois sur la délocalisation intérieure (ou au sein du pays), la délocalisation à proximité (ou dans les zones géographiques limitrophes au pays) et l'amilocalisation (ou délocalisation chez les pays amis ou alliés, qu'ils se trouvent à proximité ou non) ainsi que sur la délocalisation à l'étranger constitue possiblement la meilleure approche²³.

En 2022, le gouvernement fédéral américain a présenté la *Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors (CHIPS) and Science Act*, qui prévoit l'injection de près de 280 milliards de dollars américains pour renforcer les capacités intérieures

de fabrication, de conception et de recherche dans le domaine des semi-conducteurs²⁴. L'une des principales mesures de la Loi est la constitution des chaînes d'approvisionnement intégrées en Amérique du Nord, y compris l'engagement du Canada et des États-Unis à mettre sur pied un corridor bilatéral de conditionnement des semi-conducteurs²⁵.

Complexité de la chaîne d'approvisionnement

La chaîne d'approvisionnement des semi-conducteurs est très complexe, puisqu'un vaste éventail d'entreprises dépendent du bon déroulement des activités de production. Il s'agit d'un réseau fragile susceptible d'être vulnérable aux événements mondiaux tels que les phénomènes météorologiques extrêmes et les tensions géopolitiques, dont les relations commerciales tendues entre les États-Unis et la Chine²⁶, car la fabrication de semi-conducteurs est très concentrée dans quelques pays à l'heure actuelle²⁷. Sans compter qu'une perturbation de la chaîne d'approvisionnement à l'échelle mondiale pourrait freiner la transition vers des énergies propres, puisqu'elle est tributaire de l'offre de semi-conducteurs²⁸. Ce déséquilibre entre l'offre et la demande peut aussi avoir des répercussions sur les industries automobile et médicale²⁹.

À l'heure actuelle, la chaîne d'approvisionnement repose sur quatre grands types de modèles d'affaires : les fabricants intégrés voient à la plupart des étapes de production, les entreprises sans usine prennent uniquement part à la conception, les fonderies se concentrent sur la fabrication tandis que les sous-traitants spécialisés en assemblage et essais se consacrent à la fabrication finale³⁰. La production s'appuie également sur un vaste réseau de fournisseurs de matières premières, de matériel, d'outils de conception logicielle et de blocs de propriété intellectuelle³¹.

Il s'agit d'un écosystème mondial; ainsi, les composants d'une puce parcourent plus de 40 000 kilomètres avant d'être intégrés au produit fini et traversent des frontières internationales au moins à 70 reprises avant d'aboutir entre les mains du consommateur final³². Cela peut prendre jusqu'à 26 semaines avant qu'un client qui a commandé un produit contenant une puce à semi-conducteur le reçoive³³.

Les importations et exportations à répétition tout au long du cycle de vie des semi-conducteurs se traduisent par des délais d'exécution plus longs

et empêchent les entreprises de s'adapter rapidement aux fluctuations du marché³⁴. Toutefois, le fait que la chaîne d'approvisionnement soit mondiale permet au secteur des semi-conducteurs d'innover et de faire des percées en puisant dans un bassin diversifié de talents³⁵. Cela donne aussi au secteur la souplesse et la capacité d'adaptation requises pour atténuer les risques, de sorte qu'il peut réagir aux incidents et aux défis qui touchent certaines régions et transférer des activités dans un autre endroit³⁶.

Parcours d'un semi-conducteur autour du monde...

40 000 km

Distance que doit parcourir une puce avant son intégration au produit fini.

Plus de 70 passages frontaliers

Pour les composants de semi-conducteurs au cours du processus de fabrication avant d'aboutir entre les mains du consommateur final.

26 semaines

Délai avant qu'un client qui a commandé un produit contenant une puce à semi-conducteur le reçoive.

Demande croissante de VE

Il devient de plus en plus évident que l'avenir du transport passe par l'électrification. Les semi-conducteurs sont des composants essentiels des VE, et sans eux, il serait impossible d'exécuter un grand nombre de fonctions. Les consommateurs souhaitent de plus en plus que les VE soient plus accessibles et abordables, car ils prennent davantage conscience des modifications d'habitude nécessaires pour freiner les changements climatiques. D'après les résultats du sondage de KPMG sur l'automobile 2022, 71 % des Canadiens envisagent d'opter pour un véhicule électrique lors de leur prochain achat³⁷. L'Agence internationale de l'énergie s'attend quant à elle à ce que près de 240 millions de VE circulent sur les routes de la planète d'ici 2030³⁸.

À cette fin, le gouvernement du Canada a pris des mesures pour rendre l'achat, la recharge et la conduite de VE plus abordables pour les Canadiens en investissant des sommes additionnelles dans le programme d'Incitatifs pour les véhicules zéro émission (iVZE)³⁹ et le Programme d'infrastructure pour les véhicules à émission zéro (PIVEZ)⁴⁰.

De plus, le gouvernement fédéral a fixé une cible obligatoire selon laquelle tous les voitures et camions légers à passagers vendus devront être des véhicules à faibles émissions d'ici 2035⁴¹. Il compte aussi faire adopter une réglementation pour un sous-ensemble de types de véhicules moyens et lourds visant à faire en sorte qu'en 2040, tous les véhicules vendus qui appartiennent à ces catégories soient à faibles émissions⁴².

Transition à une économie à faibles émissions

Les semi-conducteurs sont au cœur de la transition vers les énergies propres. Ils sont des éléments essentiels aux systèmes d'énergie solaire, aux éoliennes et autres types de matériel électronique employés dans la chaîne d'approvisionnement des énergies renouvelables⁴³. La transition du Canada à une économie à faibles émissions repose sur l'utilisation de semi-conducteurs.

De plus, les semi-conducteurs servent de plus en plus à rendre le réseau électrique plus intelligent grâce au recours à des compteurs, des capteurs, des communications sans fil et des systèmes de commande intelligents⁴⁴. Le taux de croissance annuel composé (TCAC) des semi-conducteurs utilisés dans le marché mondial des énergies renouvelables devrait osciller entre 8 % et 10 % de 2022 à 2027⁴⁵.

Le Canada s'est engagé à mettre en place un réseau électrique entièrement carboneutre d'ici 2035. À cette fin, il élabore un nouveau règlement sur l'électricité propre et des mesures complémentaires qui garantiront que le Canada élimine progressivement l'électricité encore produite par des combustibles fossiles⁴⁶.

Cependant, la fabrication de puces à semi-conducteur est énergivore et nécessite beaucoup d'eau. Le secteur a donc commencé à examiner les moyens d'atténuer ses effets sur le climat pour arriver à atteindre les objectifs de carboneutralité⁴⁷. De plus en plus de fabricants de puces cherchent à privilégier les sources d'énergie renouvelable et se fixent des objectifs de réduction des émissions⁴⁸. Le plus important fabricant de puces, TSMC, s'est engagé à devenir carboneutre d'ici 2050 tandis que l'entreprise américaine Intel entend utiliser uniquement de l'électricité de sources renouvelables d'ici 2030⁴⁹. La consommation d'énergie représente présentement 62 % des émissions de TSMC et l'entreprise recherche activement des occasions d'investir dans les sources d'énergie propre⁵⁰. Le secteur a trouvé d'autres façons d'atténuer les incidences sur le climat : améliorer le rendement énergétique de la régulation de la température

de l'eau et de l'air, de l'humidité et de la pression dans les usines de fabrication de semi-conducteurs et se servir de l'apprentissage machine pour éteindre les outils qui ne sont pas utilisés⁵¹.

Le secteur est également vulnérable aux effets des changements climatiques, notamment aux répercussions des phénomènes météorologiques extrêmes sur la production à l'échelle mondiale. C'est Taïwan qui produit le plus de semi-conducteurs sur la planète et elle est très vulnérable à ce genre d'événements. À titre d'exemple, les épisodes de sécheresse à Taïwan ont une incidence sur l'approvisionnement en eau et l'alimentation en hydroélectricité des usines de fabrication⁵².

Tendances en matière de compétences et d'emplois

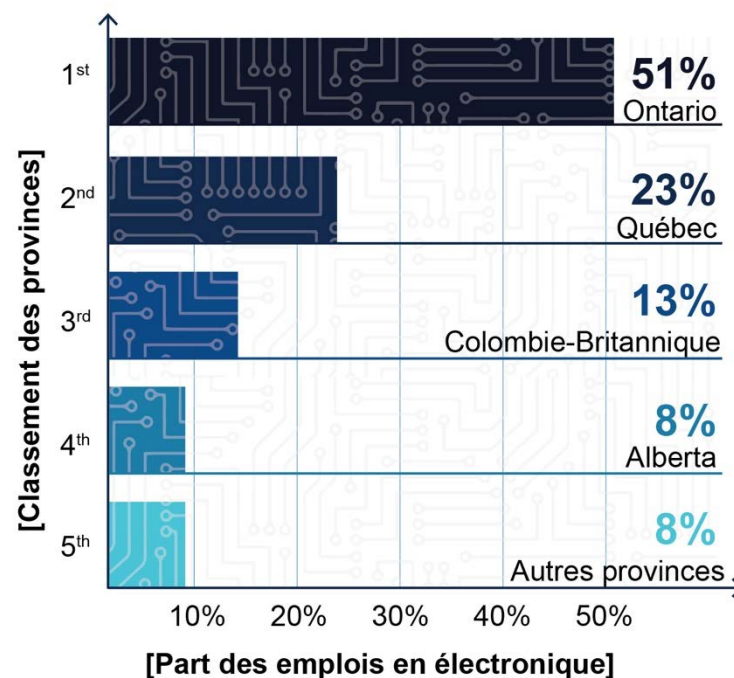
Les entreprises de semi-conducteurs jouent un rôle primordial au sein des chaînes de valeur mondiales, et elles doivent par conséquent avoir accès aux compétences et aux talents dont elles ont besoin pour innover et être des acteurs sur la scène planétaire⁵³. La concurrence sur le marché de l'emploi est plus forte que jamais; d'ici 2030, la demande de compétences technologiques sera supérieure de 20 % aux niveaux de 2019, et ce, dans tous les marchés⁵⁴. Selon les prévisions, le secteur mondial des semi-conducteurs devra recruter au moins un million de travailleurs qualifiés de plus d'ici 2030⁵⁵.

Au Canada, c'est en Ontario que l'on compte le plus d'emplois en électronique, soit 180 000, ce qui correspond à une part de marché de 51 %⁵⁶. En plus des postes en fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques, ces emplois comprennent les postes en fabrication de matériel informatique et périphérique, de matériel de communication et de machines industrielles ainsi qu'en conception de systèmes informatiques et services connexes. Comme le marché des semi-conducteurs est appelé à se développer, les entreprises devront veiller à demeurer attrayantes pour les nouveaux talents et à conserver leurs employés actuels⁵⁷. Aux États-Unis, on craint de ne pouvoir pourvoir 58 % des nouveaux emplois dans le secteur des semi-conducteurs, tant en fabrication qu'en conception, d'ici 2030⁵⁸.

Selon la Semiconductor Industry Association, l'effet multiplicateur des emplois dans le domaine des semi-conducteurs est de 6,7; autrement dit, chaque emploi direct dans cette industrie crée 5,7 postes supplémentaires dans les autres secteurs de l'économie⁵⁹. Le Canada's Semiconductor Council affirme pour sa part que « l'industrie canadienne des semi-conducteurs crée près de deux millions d'emplois directs et indirects qui sont essentiels à nos secteurs économiques les plus stratégiques, tels que l'automobile, l'énergie, les soins de santé, l'agriculture et la fabrication de pointe et elle est la pierre d'assise de chaque secteur d'activité adapté au numérique⁶⁰ ».

De 2010 à 2020, le TCAC des emplois dans le secteur canadien de l'électronique a été de 3,93 % par année⁶¹. En 2018, 1,89 % de tous les emplois au Canada se rapportaient à l'électronique⁶². Le Canada's Semiconductor Council s'attend à ce que la croissance annuelle des emplois dans le secteur canadien de l'électronique se poursuive, et qu'elle soit de l'ordre de 0,26 % par année d'ici 2030 dans le secteur de la fabrication des composants de semi-conducteurs⁶³.

Les provinces qui comptent le plus d'emplois en électronique (2020)⁶⁴



Exemple de réussite à l'échelle mondiale : Pays de Galles – des solutions à la pénurie de compétences dans le secteur des semi-conducteurs

Établie dans le pays de Galles du Sud et soutenue par Innovate UK, l'organisme d'innovation national du Royaume-Uni, l'entreprise Compound Semiconductor Applications Catapult travaille à déterminer les écarts de compétences et les pénuries à venir dans le secteur et à trouver des solutions pour aider à constituer une main-d'œuvre spécialisée⁶⁵.

Par l'intermédiaire de son centre de compétences (Skills Academy), Catapult a conçu une série de mesures pour répondre aux lacunes en matière de compétences au sein du bassin de talents, y compris trois initiatives de sensibilisation aux sciences, technologie, ingénierie et mathématiques (STIM) qui s'adressent aux écoles primaires et le financement d'un programme de bourses d'études offrant des bourses et stages d'un an dans cinq domaines technologiques clés aux étudiants en génie de premier et deuxième cycles⁶⁶. Catapult finance également la recherche doctorale en informatique au Computer Science Centre for Doctoral Training et en propulsion électrique durable au Sustainable Electrical Propulsion Centre for Doctoral Training⁶⁷.

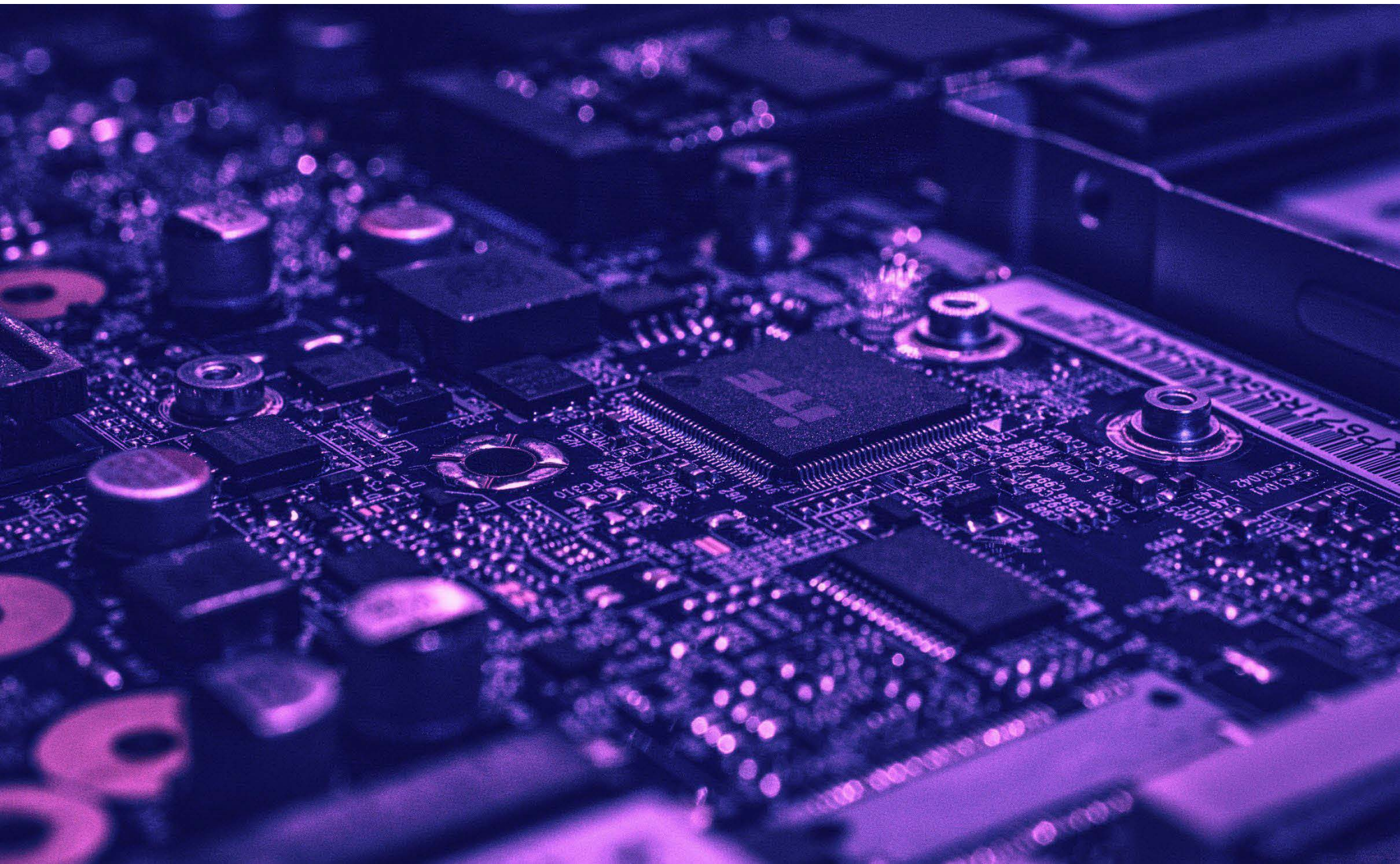
Exemple de réussite à l'échelle mondiale : États-Unis – la *CHIPS and Science Act*

En 2022, le gouvernement fédéral américain a promulgué la *CHIPS and Science Act*, grâce à laquelle une part importante de la nouvelle capacité de fabrication de semi-conducteurs et des activités de recherche et développement connexes sera aux États-Unis⁶⁸.

La Loi prévoit l'injection de sommes considérables pour permettre aux États-Unis de continuer de jouer un rôle de premier plan dans le secteur des semi-conducteurs; ainsi, 52,7 milliards de dollars américains serviront à stimuler la recherche et le développement, la fabrication et le perfectionnement de la main-d'œuvre dans l'industrie américaine des semi-conducteurs⁶⁹. Une somme de 200 milliards de dollars américains sera allouée à la recherche scientifique et au développement ainsi qu'à la commercialisation et 24 milliards de dollars américains seront versés sous forme de crédits d'impôt pour la production de semi-conducteurs⁷⁰.

D'après la Semiconductor Industry Association, la *CHIPS Act* a déjà eu les retombées suivantes : investissements privés d'environ 200 milliards de dollars américains, plus de nouveaux projets dans l'écosystème des semi-conducteurs et 44 000 emplois créés⁷¹.

3. La position unique de l'Ontario au sein du secteur des semi-conducteurs



Résumé du chapitre

L'Ontario a tout ce qu'il faut pour jouer un rôle de premier plan dans le secteur mondial des semi-conducteurs. L'influence croissante qu'il exerce laisse croire que l'Ontario pourrait être propulsé à l'avant-garde de l'innovation en matière de semi-conducteurs. Cette section résume l'état actuel de l'écosystème des semi-conducteurs de l'Ontario, notamment la place qu'il occupe dans le marché, les emplois qu'il crée et les principaux acteurs et installations qu'on retrouve dans la province.

Position sur le marché

Avantage concurrentiel

L'Ontario joue un rôle vital dans la conception des semi-conducteurs, fort d'une concentration d'installations de conception dans la province. Il abrite ainsi l'établissement de conception du plus grand fabricant de semi-conducteurs de la planète, le centre de conception d'Ottawa de TSMC.

De plus, l'Ontario compte sur des talents de qualité en fabrication de matériel électronique qui travaillent dans les usines de fabrication que Teledyne DALSA et Onsemi ont dans la province et allie un approvisionnement en énergies propres à des terrains prêts à l'investissement et un engagement à simplifier les processus d'approbation, ce qui le rend attrayant pour les gros investisseurs⁷².

La province occupe une position unique dans le marché des semi-conducteurs grâce aux éléments clés de ses infrastructures de recherche, dont la Hardware Catalyst Initiative du ventureLAB, l'un des sept SRDT du ROIV, et de plusieurs installations de recherche de premier plan du domaine des semi-conducteurs, y compris l'Institut Vecteur et le Centre de recherche en électronique et photonique avancées du Conseil national de recherches Canada (CNRC).

Le ROIV renforce les capacités en matière de technologies automobiles et de mobilité intelligente dans la province par l'intermédiaire de ses programmes de financement axés sur l'amélioration des compétences et la recherche, comme le Fonds de partenariats en R-D, le programme de développement des talents et le Programme régional pour la main-d'œuvre de demain⁷³.

Sans compter que quatre des dix universités canadiennes les mieux financées au chapitre de la recherche et du développement dans le domaine de l'électronique sont situées en Ontario (Université de Waterloo, Université de Toronto, Université McMaster et Université Carleton). Le secteur des semi-conducteurs a donc accès à un vaste bassin de talents à l'échelle provinciale⁷⁴.

Pour le marché mondial, l'Ontario est une zone franche de droits de douane pour les fabricants et il a un accès à des accords de libre-échange conclus avec 51 pays, ce qui en fait un endroit idéal pour les installations des fabricants de semi-conducteurs⁷⁵. Plus précisément, l'Ontario a accès au libre-échange dans plusieurs des pays qui jouent un rôle de premier plan dans le secteur des semi-conducteurs, comme la Corée du Sud et le Japon, aux termes de l'Accord de libre-échange Canada-Corée⁷⁶ et de l'Accord de Partenariat transpacifique global et progressiste (PTPGP), respectivement⁷⁷. De plus, le gouvernement du Canada a pris récemment des mesures pour investir dans la fabrication de semi-conducteurs et l'innovation dans ce domaine en Ontario, en octroyant une contribution de 36 millions de dollars, par l'entremise du Fonds stratégique pour l'innovation, à Ranovus Inc., une entreprise d'Ottawa⁷⁸. Cette contribution servira à soutenir un projet de 100 millions de dollars qui renforcera la capacité canadienne de fabrication de semi-conducteurs, ainsi que les services connexes⁷⁹.

Il existe aussi en Ontario des possibilités d'exploration de matériaux essentiels à la fabrication de puces à semi-conducteur, tels que le gallium et le germanium⁸⁰, qui s'appuient sur une industrie minière florissante dans la province⁸¹.

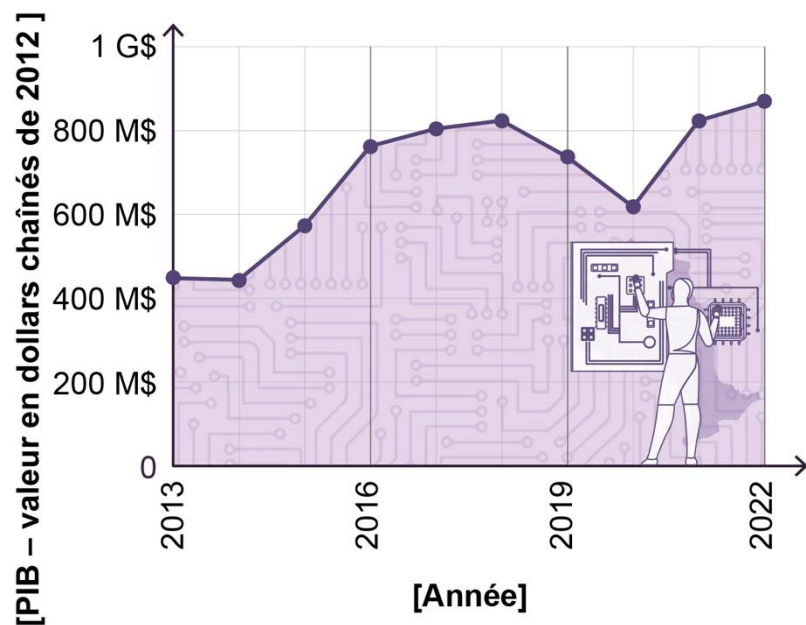
Contribution accrue au PIB

L'apport du secteur des semi-conducteurs de l'Ontario au PIB du Canada est important et la reprise du secteur est convaincante, comme en témoigne une croissance constante supérieure aux niveaux antérieurs à la pandémie.

En 2022, la contribution du secteur ontarien au PIB de la province s'est chiffrée à 800 millions de dollars⁸².

Dans l'ensemble, le chiffre d'affaires du marché canadien des semi-conducteurs devrait atteindre 6,93 milliards de dollars en 2023 et il devrait progresser à un TCAC de 6,52 %, pour s'établir à 8,96 milliards de dollars d'ici 2027⁸³. À titre comparatif, le chiffre d'affaires du marché des semi-conducteurs du Royaume-Uni devrait être de l'ordre de 2,95 milliards de dollars en 2023 et croître à un TCAC de 6,11 %, pour atteindre 3,74 milliards de dollars en 2027⁸⁴.

Contribution du secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques (code 3344 du SCIAN) au PIB de l'Ontario



© CIO, 2023

Des chiffres révélateurs...

Plus de 800 M\$

Contribution du secteur des semi-conducteurs au PIB de l'Ontario en 2022.

Plus de 3,3 G\$

Valeur des importations totales de l'Ontario dans le secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques en 2022.

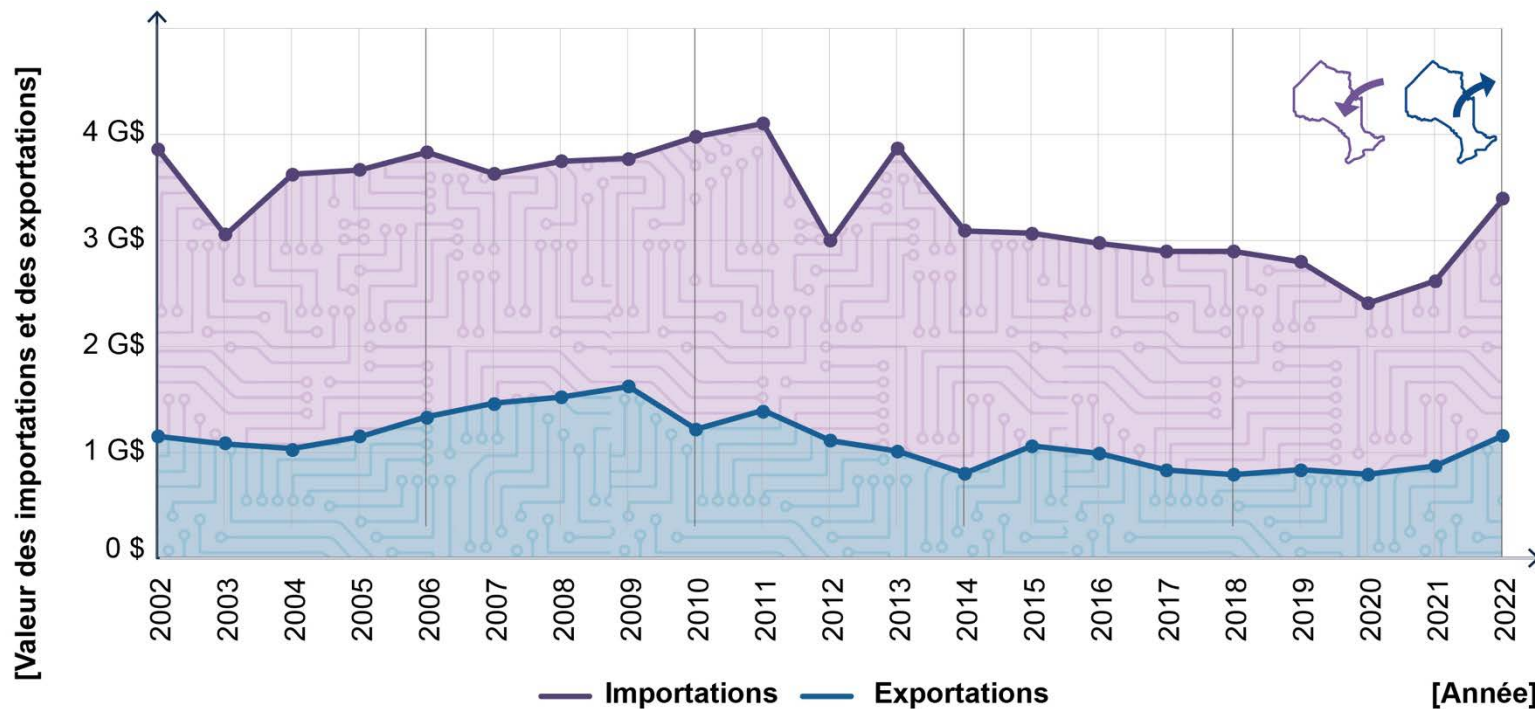
Plus de 8 500

Nombre d'employés travaillant dans le secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques en 2022.

Plus de 2 000

Nombre d'entreprises technologiques soutenues par ventureLAB.

Valeur des importations et exportations totales de l'Ontario dans le secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques (code 3344 du SCIAN)⁸⁵



Des exportations nationales et internationales en expansion

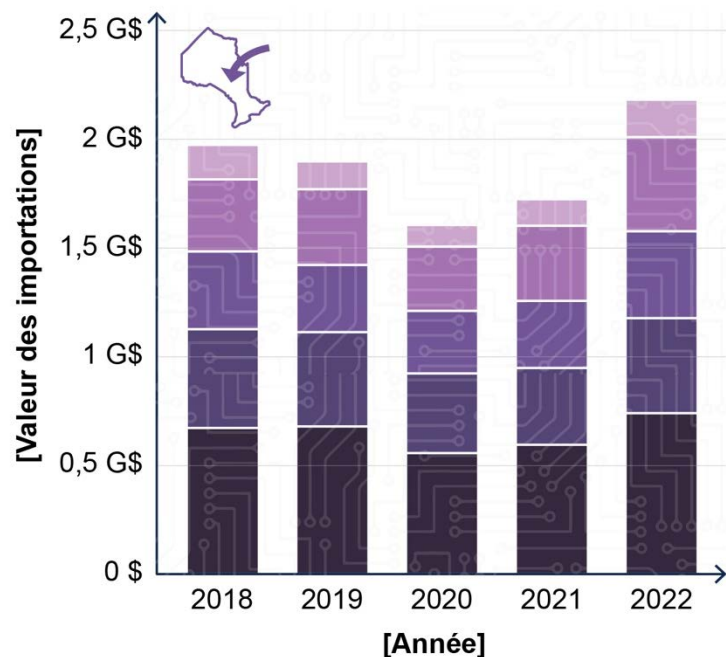
Les exportations nationales et internationales de l'Ontario qui se rapportent au secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques (code 3344 du SCIAN^{*}) sont en hausse. En 2022, la valeur des exportations totales a dépassé 1,1 milliard de dollars, dont près de 700 millions en exportations nationales⁸⁶. Après avoir connu un recul à l'échelle mondiale durant la pandémie de COVID-19 à cause de problèmes touchant à la chaîne d'approvisionnement, le marché a connu une forte

reprise en Ontario et poursuit sa croissance. Les importations totales connaissent aussi un essor; elles se chiffrent à plus de 3,3 milliards de dollars en 2022. À mesure que la demande de semi-conducteurs et de dispositifs électroniques qui en ont besoin pour fonctionner augmente, l'Ontario peut continuer à jouer un rôle clé sur la scène internationale en augmentant sa capacité d'exportation.

© CIO, 2023

^{*} Code 3344 du SCIAN, le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord, pour le secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques

Importations de l'Ontario auprès des cinq premiers partenaires commerciaux au cours des cinq dernières années dans le secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques (code 3344 du SCIAN)⁸⁷



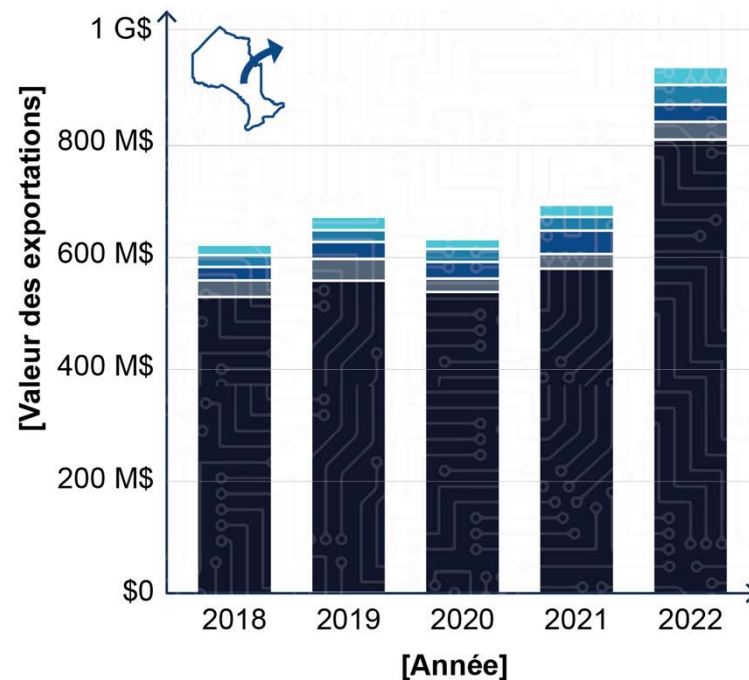
Légende

- Chine
- États-Unis
- Malaisie
- Taïwan
- Philippines

Rôle de plus en plus important au sein du marché international

En 2022, les importations de l'Ontario provenaient, en ordre d'importance, de la Chine (plus de 0,7 milliard de dollars), suivie des États-Unis et de Taïwan (à plus de 0,4 milliard de dollars dans les deux cas)⁸⁹. La croissance annuelle des importations sur le marché international se poursuit, avec un écart positif de 0,5 milliard de dollars par rapport aux niveaux antérieurs à la pandémie. L'Ontario exporte ses semi-conducteurs et d'autres composants électroniques à différents pays.

Exportations de l'Ontario aux cinq premiers partenaires commerciaux au cours des cinq dernières années dans le secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques (code 3344 du SCIAN)⁸⁸



Légende

- États-Unis
- Mexique
- Hong Kong
- Chine
- Allemagne

© CIO, 2023

Les États-Unis sont de loin le plus important marché pour l'Ontario, avec des exportations de plus de 800 millions de dollars en 2022⁹⁰. Les exportations vers la Chine, le Mexique, l'Allemagne et Hong Kong totalisent dans chaque cas près de 30 millions de dollars. Il est possible pour l'Ontario de tirer parti d'un marché d'exportation bien établi pour saisir des débouchés dans d'autres pays que les États-Unis.



“

« Le secteur mondial croissant du matériel informatique offre aux innovateurs canadiens l'occasion enthousiasmante d'aller de l'avant avec leurs produits de calibre mondial, et d'ajouter de la valeur aux chaînes d'approvisionnement mondial. Notre gouvernement est déterminé à assurer la croissance et la compétitivité de ce secteur vital en soutenant les entreprises canadiennes en vue de saisir les occasions devant nous alors que nous œuvrons à opérer une relance économique forte, inclusive et numérique suite à la COVID-19⁹¹. »

– L'honorable Mary Ng, ministre de la Promotion des exportations, du Commerce international et du Développement économique et députée de Markham–Thornhill

Exemple de réussite en Ontario : système de stationnement automatique 3D de VSem

VSem, une PME canadienne du domaine des technologies établie en Ontario, a mené un projet de recherche sur les semi-conducteurs avec SAIC Motor, un FEO chinois du secteur de l'automobile, dans le cadre du Fonds de partenariats en R-D du ROIV. Le projet visait la mise au point d'un **système de stationnement automatique 3D** qui gare automatiquement les véhicules dans des différents environnements complexes.

Le projet qui recourait à un LIDAR 3D à portée proximale était **révolutionnaire**, car il offrait au véhicule une compréhension tridimensionnelle de l'environnement plutôt qu'une perception bidimensionnelle. Contrairement aux radars à ultrasons en un seul point et aux caméras de recul 2D, le LIDAR 3D à portée proximale permet d'effectuer une manœuvre de stationnement automatique dans des environnements très difficiles.

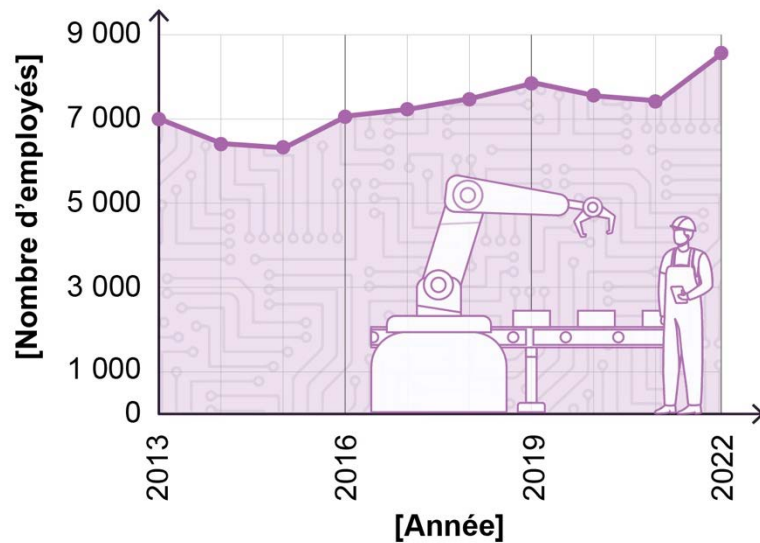
La réussite du projet a doté les communautés du domaine des technologies autonomes de l'Ontario d'une solution novatrice et a donné l'occasion de se préparer à la prochaine génération de véhicules autonomes. Enfin, elle a mené à la présentation de technologies canadiennes de pointe pour les semi-conducteurs aux FEO de la Chine et de l'Asie, qui a engendré de nouvelles occasions d'affaires pour le Canada, y compris la possibilité de collaborer et de réussir à l'échelle mondiale.

Contribution à l'emploi

Niveaux d'emploi en hausse

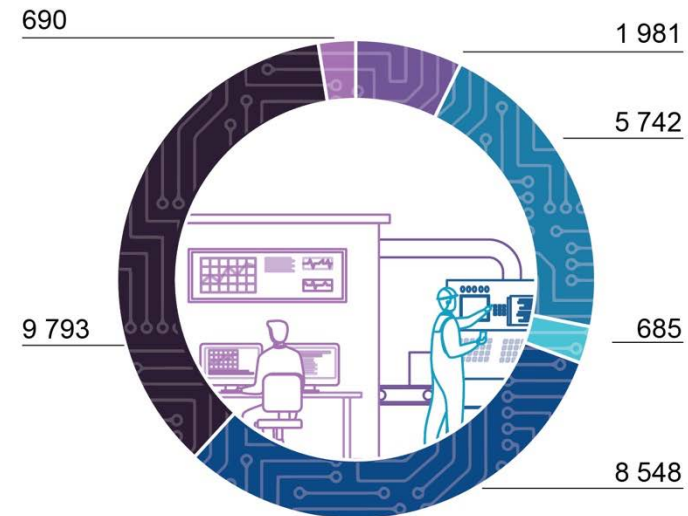
En 2022, plus de 8 500 personnes travaillaient dans le secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques en Ontario⁹². Le nombre d'employés au sein du secteur de la fabrication de semi-conducteurs est en progression constante depuis 2013, avec un recrutement dont le rythme s'est accéléré de 2021 à 2022, et a tenu bon durant la pandémie de COVID-19. Ce niveau de recrutement est appelé à se maintenir à mesure que le secteur des semi-conducteurs se développe, compte tenu de la réputation d'acteur clé de l'Ontario.

Emplois dans le secteur de la fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques (code 3344 du SCIAN) en Ontario⁹³



© CIO, 2023

Répartition des emplois en fabrication de produits informatiques et électroniques (code 334 du SCIAN) en Ontario en 2022⁹⁴



Légende

- Fabrication de matériel informatique et périphérique
- Fabrication de matériel de communication
- Fabrication de matériel audio et vidéo
- Fabrication de semi-conducteurs et d'autres composants électroniques
- Fabrication d'instruments de navigation, de mesure et de commande et d'instruments médicaux
- Fabrication et reproduction de supports magnétiques et optiques

© CIO, 2023



“

« Les semi-conducteurs font partie de notre vie quotidienne. On les retrouve dans nos téléphones, nos voitures et nos électroménagers. [...] Le Canada continuera de jouer un rôle de premier plan dans ce secteur à évolution rapide et il renforcera ainsi la chaîne d'approvisionnement nord-américaine⁹⁵. »

– L'honorable François-Philippe Champagne, ministre de l'Innovation, des Sciences et de l'Industrie

Acteurs de l'écosystème

Les forces motrices de l'industrie en Ontario

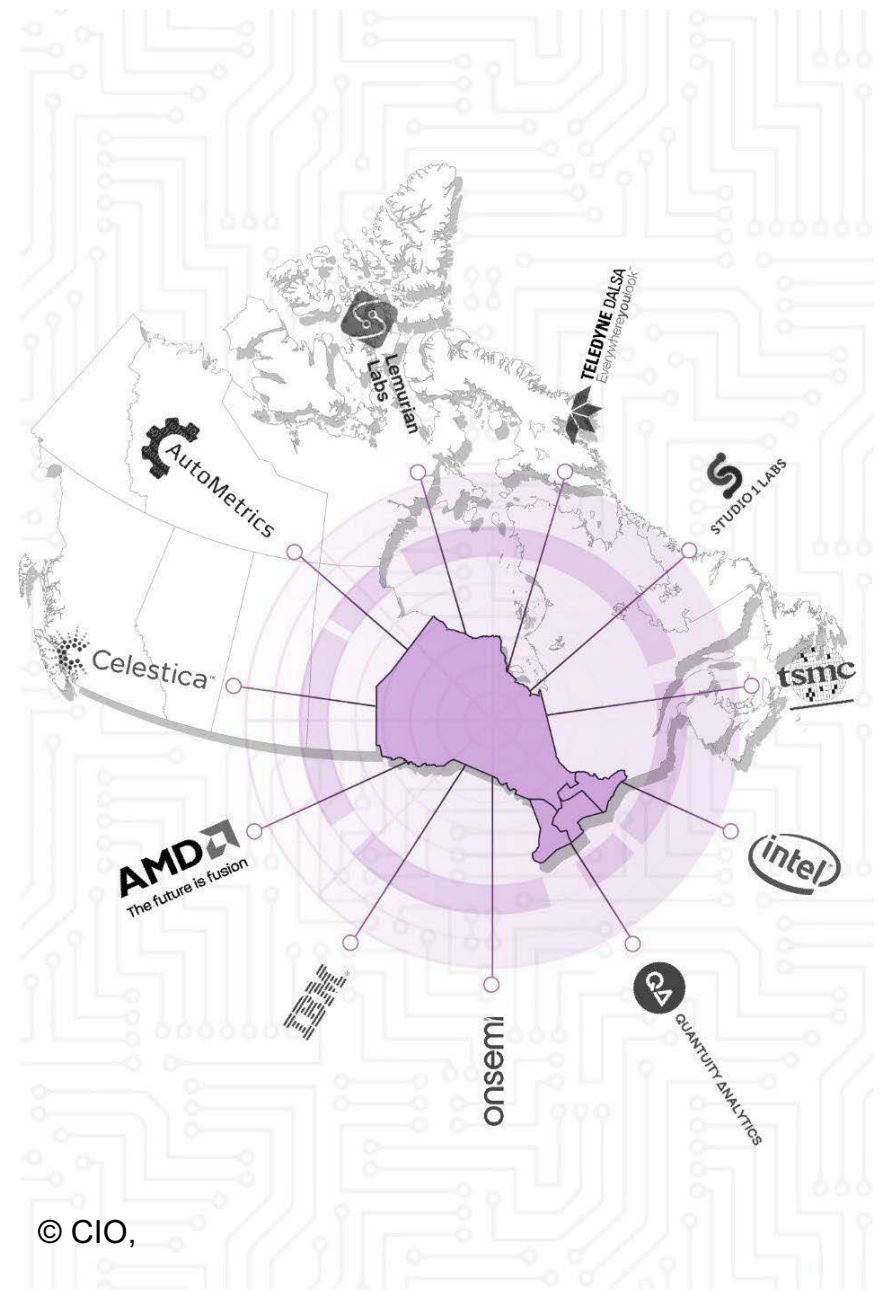
L'Ontario compte plusieurs organisations et installations qui jouent un rôle central dans l'essor du secteur des semi-conducteurs au Canada, dont ventureLAB, un important centre dédié au développement des technologies qui a travaillé avec plus de 2 000 entreprises technologiques depuis 2011. ventureLab fournit du soutien aux fondateurs de ces entreprises et les met en lien direct avec des ressources pour les aider à réunir des capitaux, à attirer et conserver des talents et à commercialiser des technologies et leur PI⁹⁶.

ventureLAB fait partie des SRDT du ROIV. Il s'agit d'installations dispersées en Ontario que les PME peuvent utiliser pour procéder au développement, à l'essai et au prototypage de leurs technologies automobiles avancées et de leurs solutions de mobilité intelligente et tirer parti de conseils, d'expertise et de connaissances liées aux principaux domaines d'intérêt du secteur de l'automobile et de la mobilité⁹⁷.

Les laboratoires uniques de l'Ontario

L'Ontario compte le seul incubateur et laboratoire canadien axé sur les semi-conducteurs, la Hardware Catalyst Initiative du ventureLAB. Cette initiative aide les sociétés technologiques à écourter le temps de mise sur le marché, de sorte que les entreprises spécialisées en matériel et semi-conducteurs peuvent se développer et intensifier leurs activités localement, tout en étant concurrentielles à l'échelle mondiale⁹⁸. Grâce à la Hardware Catalyst Initiative, plus de 340 millions de dollars ont été investis dans les entreprises technologiques canadiennes⁹⁹.

L'Ontario abrite aussi le centre de conception de TSMC. TSMC travaille avec les innovateurs du secteur des semi-conducteurs et les aide à transformer leurs modèles en produits en état de fonctionnement pouvant être fabriqués en grande quantité en leur donnant accès à des capacités de conception et de traitement indépendantes¹⁰⁰.



Les organisations de l'Ontario

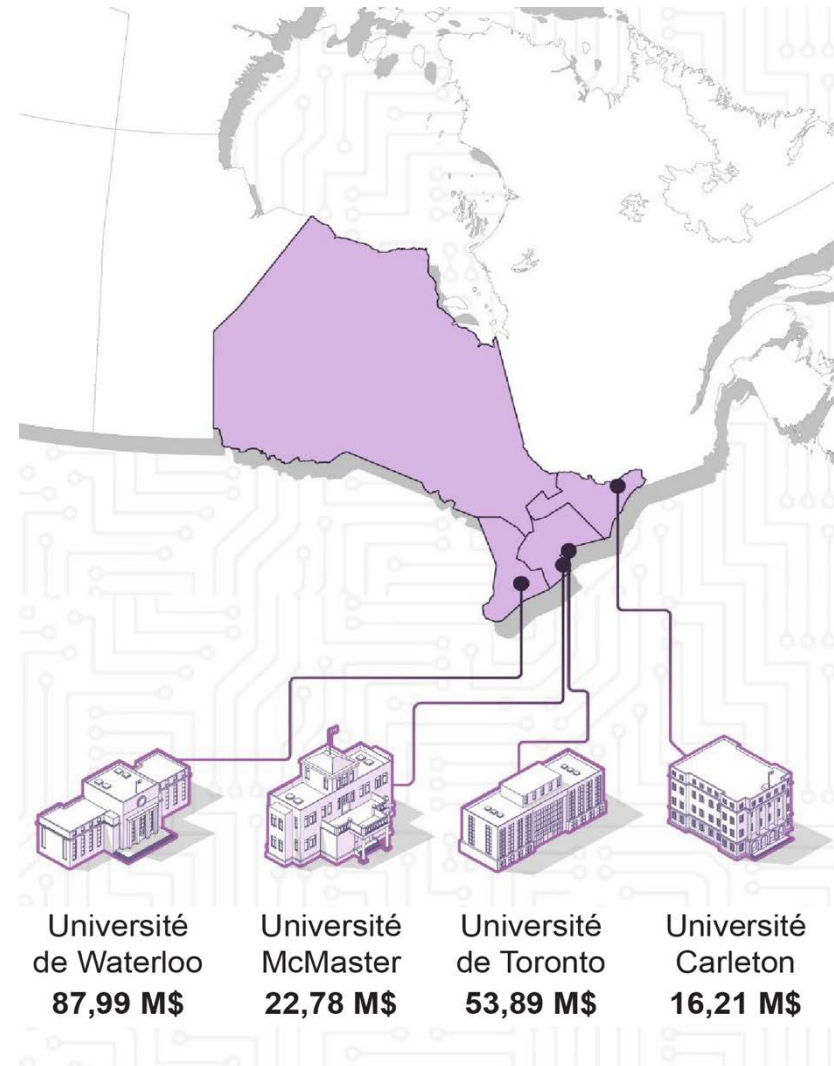
L'Ontario est doté d'un savoir-faire technique recherché et des dépendances industrielles essentielles dans les secteurs de l'automobile et de la fabrication de pointe¹⁰¹. Certains des acteurs de l'écosystème de l'Ontario sont présentés ci-dessous.

- Teledyne DALSA – fabricant spécialisé dans les circuits intégrés et l'électronique, les logiciels, le traitement de tranches de semi-conducteurs de haute technicité et les systèmes de vision industrielle pour le secteur de la fabrication de véhicules automobiles. Son siège social est à Waterloo, en Ontario¹⁰².
- Onsemi – fabricant de semi-conducteurs spécialisé dans les solutions automobiles qui compte des installations d'assemblage et d'essais à Burlington en Ontario et des bureaux d'études dans plusieurs emplacements en Ontario¹⁰³.
- Celestica – entreprise qui fournit des solutions de conception, de fabrication et de chaîne d'approvisionnement ayant un laboratoire d'essais de matériel électronique à Newmarket, en Ontario¹⁰⁴.
- IBM – entreprise mondiale spécialisée dans les logiciels dont le siège social canadien se trouve à Markham, en Ontario¹⁰⁵.

Instituts de recherche en Ontario

L'Ontario compte de nombreux programmes de recherche en électronique de premier plan. Quatre des dix universités canadiennes les mieux financées au chapitre de la recherche et du développement dans le domaine de l'électronique sont situées dans la province. Parmi les instituts de recherche en électronique, c'est l'Université de Waterloo qui arrive en tête, avec des subventions et des bourses de près de 88 millions de dollars du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNC) de 2015 à 2020, suivi de l'Université de Toronto, avec près de 54 millions de dollars en subventions et bourses¹⁰⁶. L'Université Carleton contribue aussi activement à la recherche axée sur les semi-conducteurs, et se concentre sur la conception de dispositifs, les structures de dispositifs novatrices et les capteurs à semi-conducteur¹⁰⁷. Les domaines de recherche de l'Université

McMaster sont les composants et les systèmes microélectroniques, nanoélectroniques et optoélectroniques ainsi que les technologies permettant de fabriquer à moindre coût des capteurs et groupes-capteurs intégrés¹⁰⁸.



Exemple de réussite en Ontario : Programme de développement des talents du ROIV

Le programme de développement des talents du ROIV offre un soutien aux titulaires de doctorat et aux boursiers postdoctoraux pour qu'ils travaillent sur des projets de recherche et développement lancés par l'industrie axés sur les technologies des secteurs de l'automobile et de la mobilité intelligente. Le projet de recherche sur un capteur d'images mené en collaboration avec VSEMI en constitue un exemple récent.

Les photodétecteurs intégrés actuellement aux capteurs d'images à semi-conducteurs à oxyde de métal complémentaire (CMOS) reposent sur une jonction PN de silicium entre deux semi-conducteurs, l'un dopé positif et l'autre dopé négatif. Les systèmes d'imagerie et de détection destinés aux consommateurs sont jugés assez performants, mais les exigences de performance ont augmenté dans les dernières années.

Le capteur d'images à rétroéclairage de VSEMI fonctionne au moyen d'un photodétecteur novateur à hétérojonction oxyde conducteur transparent-silicium qui permet un alignement naturel entre la zone d'absorption optique et la zone de collecte des signaux, de sorte qu'aucun substrat spécial n'est nécessaire.

Contrairement aux capteurs d'images CMOS habituels, la nouvelle technologie intégrera les circuits de dispositif d'affichage et de commande d'éléments d'image et photodétecteurs sur n'importe quel côté du substrat. Le projet de recherche vise à optimiser la fabrication des composants des circuits pour les éléments d'image et le photodétecteur en employant un procédé à basse température pour fabriquer le photodétecteur à hétérojonction.

En plus de faire la démonstration du dispositif fonctionnel, ce projet servira à mettre au point des processus optimaux qui amélioreront l'uniformité dans les applications de grande surface, la capacité de production et la fiabilité des dispositifs.

Cadre réglementaire et politique

Le Canada est considéré comme un endroit de choix pour faire des affaires, car il s'est classé parmi les trois premiers pays du G20¹⁰⁹, le principal forum de coopération économique internationale pour les économies développées et émergentes de premier plan à l'échelle mondiale, au cours des cinq dernières années en plus d'être le pays du G20 où il est le plus facile de démarrer une entreprise¹¹⁰. De plus, il entretient de solides relations commerciales à l'étranger, en offrant aux fabricants et aux concepteurs de semi-conducteurs un accès préférentiel aux marchés grâce aux 15 accords de libre-échange conclus avec 51 pays¹¹¹. Dans le secteur des semi-conducteurs, le Canada compte plus de 100 entreprises nationales et multinationales qui mènent des travaux de recherche-développement sur les puces, en raison du pouvoir d'attraction de ces accords commerciaux¹¹².

Par ailleurs, le Canada a été le premier pays du G20 à devenir une zone franche des droits de douane pour les fabricants, après l'élimination par le gouvernement fédéral de plus de 1 500 droits de douane sur les intrants, les machines et le matériel de fabrication¹¹³. Cet allègement tarifaire aide à stimuler l'innovation, à améliorer la productivité et à éliminer le fardeau administratif de la conformité à la réglementation, ce qui confère un avantage concurrentiel aux fabricants de semi-conducteurs au Canada.

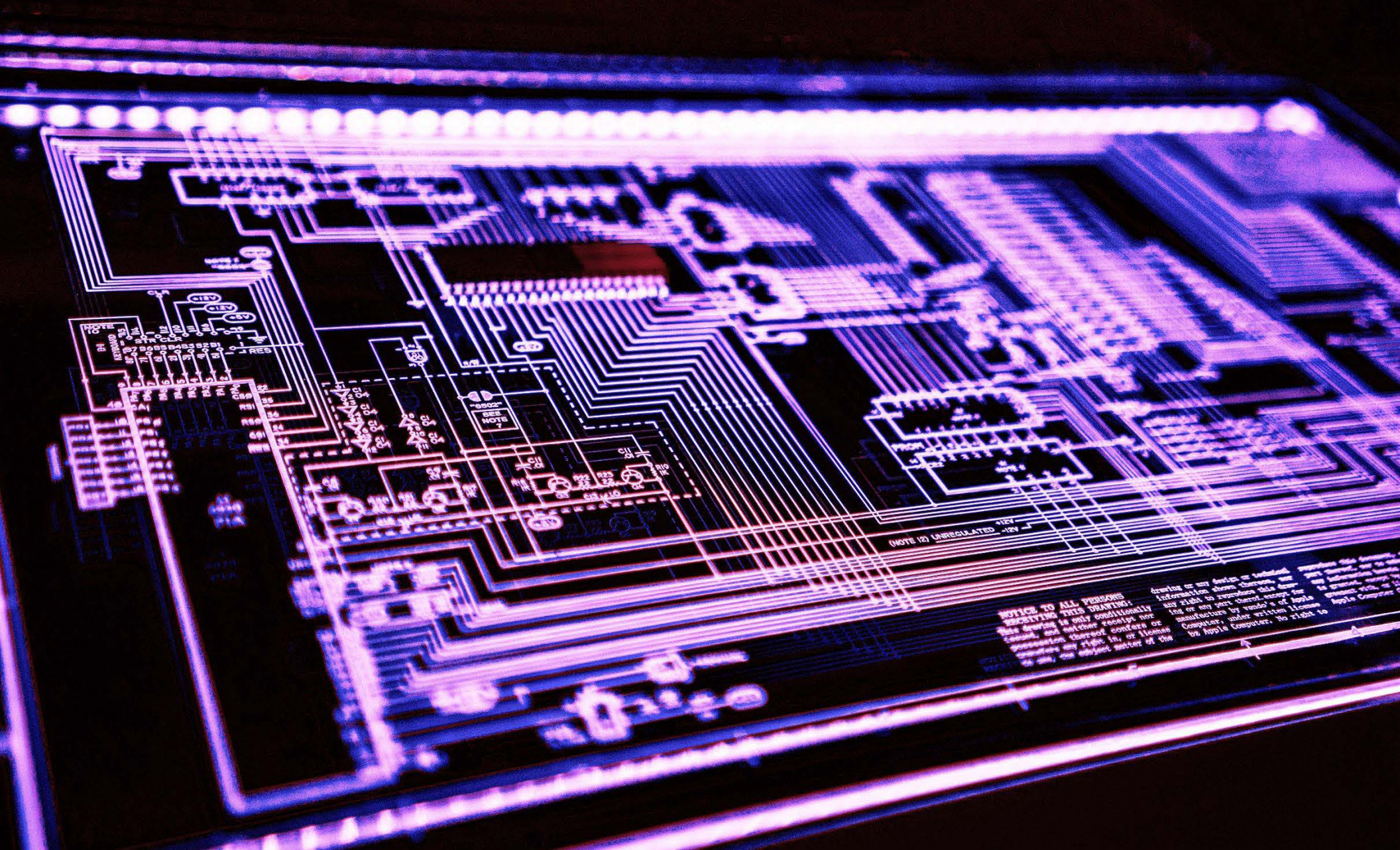
Qui plus est, aux États-Unis, l'administration Biden-Harris a promulgué la *CHIPS and Science Act* en 2022, afin de construire des chaînes d'approvisionnement intégrées en Amérique du Nord¹¹⁴. Dans la foulée de cette loi, le Canada et les États-Unis se sont engagés en mars 2023 à mettre sur pied un corridor bilatéral de conditionnement des semi-conducteurs¹¹⁵.

En plus d'être un pays rêvé pour les activités des fabricants de semi-conducteurs, le Canada a créé un environnement de recherche et développement qui favorise l'innovation et la compétitivité. Le fait qu'il soit le premier pays à adopter une stratégie nationale en matière d'IA l'illustre bien¹¹⁶. Compte tenu des quantités de plus en plus importantes de données que les applications d'IA sont en mesure de stocker et de traiter, on s'attend à ce qu'elles aient un impact considérable sur la conception des semi-conducteurs de demain¹¹⁷.

En 2022, le gouvernement du Canada a lancé le défi Approvisionnement en semi-conducteurs, un fonds de 150 millions de dollars qui visait à stimuler la recherche et le développement, à tirer parti des points forts du secteur de la fabrication et à positionner le Canada comme un fournisseur mondial essentiel de semi-conducteurs¹¹⁸.

Outre l'accès qu'il offre à des accords commerciaux nationaux, au régime tarifaire et à des investissements dans la recherche, l'Ontario est reconnu pour son « ouverture aux affaires ». Ainsi, il soutient les entreprises établies dans la province en leur accordant des réductions de tarifs d'électricité dans le cadre du Programme Avantage énergétique pour le Nord (PAEN)¹¹⁹ et du Plan exhaustif relatif à l'électricité¹²⁰.

4. Possibilités à saisir par l'Ontario dans le secteur des semi-conducteurs



NOTICE TO ALL PERSONS RECEIVING THIS DRAWING:
This drawing is only conditional for construction. Careful attention must be given to all dimensions and tolerances. No part of this drawing is to be used for any other purpose without the written consent of Apple Computer, Inc. No right to be claimed in any patent or other intellectual property which may be claimed in connection with this drawing.

Apple Computer, Inc.
100 California Street, Suite 1100
San Francisco, CA 94111-4200
Tel: 415 966 1099
Fax: 415 966 1098

Résumé du chapitre

À l'heure où la demande de semi-conducteurs augmente, il importe plus que jamais d'avoir en place un marché mondial résilient. Le secteur fait face à des défis liés à ses effets sur le climat et à la transition nécessaire à une économie à faibles émissions, en plus d'avoir besoin d'un nombre croissant de travailleurs qualifiés et de diversifier sa chaîne d'approvisionnement. L'Ontario est bien placé pour mettre à profit ses forces existantes pour non seulement favoriser la stabilité et la résilience du secteur, mais également promouvoir et affermir sa propre position d'acteur clé du cycle de vie complet des semi-conducteurs.

La section qui suit met en lumière certaines mesures qu'il est possible de prendre dans l'immédiat pour continuer à bâtir l'écosystème des semi-conducteurs de l'Ontario et présente les points saillants d'entretiens menés avec des experts de l'industrie quant aux tendances du secteur et aux possibilités à saisir par l'Ontario.

Élargir les programmes de recherche et de conception axés sur les semi-conducteurs

La recherche est cruciale pour propulser l'Ontario à l'avant-garde du secteur canadien des semi-conducteurs. Elle est essentielle pour permettre à la province de continuer de donner le ton comme innovateur scientifique et technologique. Tel qu'il est précisé au chapitre 3, l'Ontario abrite plusieurs installations de recherche de premier plan du domaine des semi-conducteurs, y compris l'Institut Vecteur à Toronto, dont les travaux sont axés l'IA, le Giga-to-Nanoelectronics Centre et l'Institut d'informatique quantique de l'Université de Waterloo et le Centre de recherche en électronique et photonique avancées du CNRC¹²¹.

Accroître le financement pour développer les activités de ces installations de recherche et entretenir la synergie entre ces percées scientifiques et technologiques, notamment celles sur le plan de l'IA et de l'informatique quantique ainsi qu'en matière de semi-conducteurs, se veut une occasion en or¹²². Ce faisant, l'Ontario pourra tirer parti de son rôle de centre de recherche et de conception spécialisé, qui stimule l'innovation dans le secteur des semi-conducteurs et est à la tête des efforts mondiaux consacrés aux progrès dans

ce domaine. En tablant sur le rôle central que joue l'Ontario dans les activités qui consistent à passer de la recherche et de la conception initiale à l'étape de commercialisation, la province peut en profiter pour investir davantage dans ce domaine, et développer des atouts, comme la Hardware Catalyst Initiative¹²³. Cela contribuera à faire savoir que l'Ontario est au cœur de l'accélération du développement du secteur des semi-conducteurs.

Continuer d'investir dans le bassin de talents

Le Canada a accès à plus d'ingénieurs qualifiés que les autres pays du G7, un regroupement informel de sept économies avancées du monde, et il se classe au premier rang parmi les pays du G7 pour le rendement du secteur de l'enseignement supérieur en matière de R-D^{124, 125}.

Il est possible de veiller à développer et à conserver les compétences spécialisées requises pour la conception et la fabrication de semi-conducteurs en Ontario. Le secteur des semi-conducteurs devrait être considéré comme un choix intéressant pour les étudiants et les travailleurs. Pour ce faire, il faut investir dans les bourses d'études, les stages et les programmes d'apprentissage tout au long du cycle de vie des semi-conducteurs, de la recherche à la conception en passant par la construction et l'entretien d'usines de fabrication, le conditionnement et l'assemblage¹²⁶.

Il est également possible de faire en sorte que le secteur des semi-conducteurs entretienne de meilleurs liens avec les établissements d'enseignement, pour éviter de perdre ces compétences au profit d'autres secteurs ou régions. Le Canada's Semiconductor Council a recommandé au gouvernement fédéral de constituer un bassin national de talents pour aider les étudiants en génie à devenir des entrepreneurs et des innovateurs dans le secteur des semi-conducteurs¹²⁷. L'Ontario est bien placé pour jouer un rôle de premier plan à cet égard, grâce à ses établissements d'enseignement et aux entreprises et installations établies dans la province qui font partie de l'écosystème des semi-conducteurs.

L'Ontario, source de matières premières

L'industrie minière de l'Ontario est florissante et compte 35 exploitations minières en activité; la valeur des minéraux qu'elles ont produits s'est élevée à 13,5 milliards de dollars en 2022¹²⁸. Il existe aussi en Ontario des possibilités d'exploration de gallium et de germanium, des matériaux essentiels à la fabrication de semi-conducteurs, mais aucune production de ces minéraux n'a été entreprise dans la province¹²⁹. En tirant parti du fait que l'Ontario figure parmi les dix premières administrations au monde pour les dépenses d'exploration minière, avec des investissements de 989 millions de dollars en 2022, il est possible de concentrer la recherche et l'exploration sur le potentiel qu'a l'Ontario de devenir une source de gallium et de germanium¹³⁰.

À l'heure actuelle, la Chine est le plus grand producteur de ces deux matériaux; on lui doit 60 % du germanium¹³¹ et 80 % du gallium qui sont produits dans le monde¹³². La Chine limite maintenant l'exportation de ces matériaux, ce qui risque d'avoir une incidence à court terme sur les niveaux de production de semi-conducteurs, mais, à long terme, le Canada et l'Ontario en particulier se voient offrir l'occasion d'explorer les possibilités d'exploitation minière dans l'optique de se positionner comme des producteurs importants¹³³.

En plus de veiller à l'approvisionnement en matières premières servant à fabriquer les tranches de silicium, l'Ontario peut également examiner son offre de produits chimiques à haut degré de pureté et d'autres matériaux requis aux autres étapes du cycle de fabrication des semi-conducteurs, comme la lithographie, le nettoyage ou la gravure¹³⁴. Cela contribuera aux efforts de la province pour délocaliser au pays la fabrication des puces, consolider le marché intérieur et moins dépendre des acteurs externes.

Investir dans les progrès technologiques

Les points forts de l'Ontario en recherche et en conception de semi-conducteurs peuvent être accentués en tirant parti des caractéristiques d'autres technologies, notamment celles qui ont besoin de puces pour fonctionner. Les VE et les capteurs en sont des exemples¹³⁵.

L'industrie automobile de l'Ontario est robuste, forte de solides bases en recherche et en développement. De nombreux centres de recherche, sites de développement et réseaux d'innovation sont établis en Ontario, ce qui favorise l'innovation et la commercialisation de nouvelles technologies, surtout dans le domaine des VE. Le Centre for Hybrid Automotive Research and Green Energy Lab (laboratoire du centre de recherche sur les véhicules électriques et l'énergie verte) de l'Université de Windsor réalise des simulations et des mises à l'essai sur des VE pour obtenir des renseignements pratiques pouvant orienter leur mise au point¹³⁶. Le Waterloo Centre for Electrochemical Energy de l'Université de Waterloo est un centre de recherche en stockage électrochimique qui aide à mettre au point des technologies plus efficaces et écologiques pour les appareils électroniques portables et les VE¹³⁷.

Par ailleurs, l'Ontario finance les activités de recherche et de développement dirigées par des PME dans le cadre du Fonds de partenariats en R-D du ROIV, en leur octroyant du financement pour développer, mettre à l'essai et valider toutes les technologies automobiles et de mobilité intelligente de pointe, y compris celles qui se rapportent aux VE et aux batteries¹³⁸. L'Ontario a aussi mené le projet Arrow, une initiative lancée par l'Association des fabricants de pièces d'automobile du Canada (APMA), qui visait à mettre au point et à fabriquer le premier véhicule à faibles émissions dont chaque composant est produit au Canada¹³⁹. Le projet Arrow avait pour objectif d'accélérer la mise au point de la prochaine génération de technologies de véhicules électriques, connectés et autonomes et de mobilité¹⁴⁰. Ce projet illustre bien à quel point l'Ontario a le potentiel d'être à l'avant-garde de l'innovation technologique.

Les technologies de capteurs et de microsystèmes électromécaniques (MEMS) se prêtent à une panoplie d'applications, notamment dans les dispositifs destinés aux secteurs automobile, agricole et médical¹⁴¹. En soutenant l'innovation dans ces technologies, l'Ontario peut continuer à développer les forces du Canada en recherche et conception de semi-conducteurs¹⁴². Des bureaux d'études et des installations d'assemblage et d'essais dédiés aux capteurs et aux MEMS sont implantés dans le Sud de l'Ontario. La province est aussi à l'avant-garde de la recherche dans ce

domaine, car elle compte le Sensors and Integrated Microsystems Laboratory¹⁴³ et le Nano and Micro Systems Laboratory de l'Université de Waterloo¹⁴⁴.

La province peut soutenir la mise en place de chaînes d'approvisionnement intérieures résilientes et robustes en tablant sur son savoir-faire reconnu en recherche. Des investissements accrus dans la recherche et le développement de technologies dans la province consolideront le rôle de l'Ontario en tant que plaque tournante de la fabrication de pointe au Canada et favoriseront le développement de talents.

Faciliter la transition vers une économie à faibles émissions de carbone

Les semi-conducteurs jouent un rôle primordial dans la transition à une économie à faibles émissions, car ils contribuent à la chaîne d'approvisionnement des énergies renouvelables. La production de puces à semi-conducteur est énergivore et nécessite beaucoup d'eau. En plus d'aider à passer à une économie à faibles émissions, il est possible d'innover dans le domaine de la fabrication des semi-conducteurs, en réduisant les émissions de carbone et la consommation d'eau¹⁴⁵.

L'Ontario est déjà reconnu comme un centre de fabrication propre, grâce à la mise en œuvre de la Stratégie ontarienne relative à l'hydrogène bas carbone et du Fonds pour l'innovation relative à l'hydrogène, dont elle a fait l'annonce en mars 2023¹⁴⁶. La province compte également le plus important secteur des technologies propres au Canada, auquel on doit de grandes innovations¹⁴⁷. L'Ontario est donc bien placé pour être un précurseur dans l'étude des moyens de réduire l'impact de la fabrication de semi-conducteurs.

Perspectives des experts de l'industrie

Dans la prochaine section, nous présentons les points saillants des entretiens menés avec des experts de l'industrie au sujet des tendances et des possibilités à saisir par l'Ontario dans le secteur des semi-conducteurs.

Les experts

- Avinash Persaud, vice-président, Hardware Catalyst Initiative, ventureLAB
- Mark Donaldson, fondateur et chef de la direction, Quantuity Analytics Incorporated
- Wai Tung Ng, professeur à l'Université de Toronto
- Chris Ouslis, président, Alliance for Semiconductor Innovation Canada (ASIC)
- Cormac O'Connell, directeur, centre de conception d'Ottawa de TSMC

Les questions clés

1. Selon vous, quelles sont les grandes tendances mondiales dans le secteur des semi-conducteurs?
2. Quels possibilités et défis importants entrevoyez-vous dans les années à venir pour le secteur des semi-conducteurs?
3. Quel rôle l'Ontario peut-il jouer au sein du secteur mondial des semi-conducteurs?

Avinash Persaud

Avinash Persaud est vice-président de la Hardware Catalyst Initiative du ventureLAB, une communauté fondatrice mondiale de premier plan pour les sociétés canadiennes œuvrant dans les secteurs de la technologie du matériel informatique et des logiciels d'entreprises. Avinash met à profit ses compétences et son expérience dans le domaine des semi-conducteurs pour favoriser la mise au point et la commercialisation de semi-conducteurs, de technologies de capteurs et de microélectronique.

Premier entretien

« Un traitement qui sera de plus en plus localisé, ou échange de renseignements en périphérie de réseau, remplacera la transmission de données d'un dispositif au nuage, puis de celui-ci au dispositif. Le traitement localisé permettra de pallier les problèmes de débit ou de panne de réseau liés à la communication de données au nuage. Avec les véhicules, il faut éviter à tout prix que des pannes de réseau nuisent au traitement des données. Beaucoup de dispositifs qui reposent sur un traitement localisé fonctionnent à batterie et doivent consommer très peu d'énergie. Les microcontrôleurs ou processeurs universels font de plus en plus place à des semi-conducteurs et des capteurs spécialisés conçus pour rendre le fonctionnement plus efficace. »

« Chaque entreprise avec laquelle je me suis entretenu a dit que la disponibilité de talents était un facteur déterminant au moment de choisir l'emplacement d'une nouvelle fonderie. Si nous arrivons à attirer des employés qui possèdent la formation et l'expérience nécessaires, nous pourrons rebâtir notre industrie des semi-conducteurs. »

« L'industrie et le milieu universitaire peuvent collaborer plus étroitement pour que les diplômés de premier cycle puissent devenir plus rapidement des ingénieurs ou technologues qui apportent une contribution en cernant les occasions de collaboration intersectorielle plus tôt dans le parcours pédagogique des étudiants. »

« La politique d'immigration du Canada devrait souligner que les personnes qui ont de l'expérience dans le domaine des semi-conducteurs sont des professionnels très recherchés. »

« Les emplois en fabrication dans l'industrie des semi-conducteurs sont des postes à long terme. Le personnel tend à rester longtemps en raison d'investissements importants dans les infrastructures. Une fois les bâtiments en place, vous commencerez à voir les compétences en semi-conducteurs se développer, car vous regroupez des talents et créez des possibilités. »

« Nos investissements dans les semi-conducteurs ne s'appuieront pas sur rien. Nous investissons dans les technologies complémentaires, comme les batteries pour véhicules électriques, qui auront besoin de semi-conducteurs de puissance. Nous pouvons investir dans un parcours évolutif qui est un choix logique. »

« Comme c'est le cas de tout investissement pour l'avenir, nous investissons maintenant dans l'industrie des semi-conducteurs pour constater plus tard des résultats. Nous pouvons tirer parti de nos ressources naturelles, mais ne devons pas devenir un pays de ressources aux yeux du reste de la planète. Il nous faut renforcer nos connaissances et notre économie en tablant sur les ressources intellectuelles exceptionnelles de ce pays. Nous serons sans égal si nous prenons cet engagement. »

Mark Donaldson

Mark Donaldson est fondateur et chef de la direction de Quantuity Analytics Incorporated, une jeune entreprise ontarienne qui répond aux besoins de l'industrie du transport routier et commercial en lui fournissant des dispositifs de l'Internet des objets (Ido) intelligents qui permettent de gagner du temps précieux, de respecter ou surpasser les exigences réglementaires, de promouvoir la sécurité des véhicules et des conducteurs et de réduire le risque de fonctionnement.

Deuxième entretien

« L'IA générative ou l'IA en périphérie font partie des tendances prédominantes dans l'industrie des semi-conducteurs. Les entreprises ont dû revoir de A à Z la conception de leurs puces afin que le conditionnement ou les dés de puces comprennent des unités centrales de haute efficacité, des unités de traitement neuronal pour accélérer les modèles d'IA et des processeurs de signaux numériques permettant de faire des inférences personnalisées de l'IA en périphérie. Ainsi, il n'est plus nécessaire de transmettre des données au nuage et de s'en servir pour effectuer des inférences, pour ensuite réacheminer ces informations, ce qui consomme beaucoup d'énergie et engendre un risque lié à la confidentialité des données. »

« L'Ontario peut créer des politiques et des mesures incitatives qui encouragent les grands fabricants à développer leurs activités en Ontario, afin d'atténuer le risque et de déployer la chaîne d'approvisionnement au sein des pays alliés de l'OTAN et favoriser des économies d'échelle qui font baisser les coûts de production et profitent aux consommateurs. »

« La délocalisation intérieure ou chez des pays amis est l'une des grandes tendances dans le domaine de la fabrication de semi-conducteurs. De nombreux pays cherchent à diminuer les risques géopolitiques en recourant à des entreprises de fabrication et de conditionnement locales. »

« Grâce à son environnement politique stable, à l'absence de phénomènes météorologiques extrêmes, à ses ressources minérales abondantes et à son approvisionnement constant en eau, l'Ontario est un endroit parfait pour fabriquer des semi-conducteurs. »

« Nous devons produire des puces au Canada. Pour y arriver, nous devons préconiser une culture qui relie le milieu universitaire à l'industrie afin que les étudiants soient encouragés à chercher des emplois dans le secteur des semi-conducteurs, tant en conception de puces qu'en ingénierie. »

Chris Ouslis

Chris Ouslis travaille au sein du Programme d'aide à la recherche industrielle du Conseil national de recherches du Canada et est président de l'Alliance for Semiconductor Innovation Canada (ASIC). Avant d'occuper ces fonctions, il a fondé deux entreprises spécialisées dans la conception et la fabrication de semi-conducteurs.

Troisième entretien

« Les semi-conducteurs sont omniprésents. Ils nous permettent d'innover dans tous les secteurs, que ce soit en matière de durabilité, de soins de santé ou de technologies automobiles. »

« La technologie de l'intelligence artificielle est basée sur le logiciel, mais certains de ses éléments sont maintenant intégrés aux puces et au matériel pour accélérer le traitement ou l'effectuer sans recourir au nuage. »

« L'éducation est depuis toujours l'une des principales forces de l'Ontario. L'excellence de l'enseignement produit des ingénieurs en semi-conducteurs très doués. »

« L'Ontario compte sur un groupe d'entreprises qui possède des compétences dans la mise au point d'interfaces numériques à haute vitesse qui permettent de transmettre des données aux puces et à partir d'elles électroniquement et optiquement (à l'aide de lasers). Cet aspect est très important de nos jours, étant donné que l'intelligence artificielle a besoin de quantités massives de données. Même s'il ne s'agit que d'une petite fonction dans une puce de plus grande taille, elle joue un rôle important en reliant la puce au reste du monde. Cet élément apporte une valeur considérable et les universités ontariennes offrent une solide formation qui appuie ce secteur très pointu. »

« Les véhicules de demain seront très différents de ceux qui circulent actuellement sur nos routes. Ils vont toujours transporter des personnes, mais seront en mode autonome ou électrique, et fonctionneront de concert avec tous les autres véhicules en circulation. Selon moi, l'Ontario peut contribuer grandement à soutenir cette vision de l'avenir qui se dessine pour les véhicules en tirant parti de son savoir-faire spécialisé dans la conception d'interfaces numériques à haute vitesse essentielles à la communication de données d'un dispositif à l'autre, entre les véhicules ainsi qu'aux systèmes centraux. »

« Nous devons rapatrier les emplois de fabrication de semi-conducteurs pour renforcer la sécurité nationale et notre position sur le plan géopolitique. Nous pouvons assurément gagner en indépendance, nous renforcer et tirer de plus grands avantages en fabriquant plus de semi-conducteurs au pays. »

Cormac O'Connell

Cormac O'Connell est directeur du centre de conception d'Ottawa de TSMC, la plus importante fonderie mondiale du domaine des semi-conducteurs. Au centre de conception d'Ottawa, Cormac supervise le travail qui se rapporte aux compilateurs de mémoire et circuits intégrés spécifiques (ASIC) des processus de prochaine génération.

Quatrième entretien

« Une grande tendance qui a été observée dans l'industrie des semi-conducteurs est la consolidation des activités de fabrication. L'industrie des semi-conducteurs a vu le jour avec les fabricants intégrés, lorsque pratiquement toutes les entreprises du secteur de l'électricité possédaient leurs propres installations de fabrication, de sorte qu'elles produisaient elles-mêmes les puces utilisées dans leurs produits. À cette époque, une jeune entreprise du domaine des semi-conducteurs dotée d'une conception novatrice qui n'avait pas les moyens de construire une usine de fabrication de plusieurs millions de dollars et de l'équiper devait confier sa production aux fabricants intégrés, quand ceux-ci avaient des capacités de production inutilisées. Les produits de ces jeunes entreprises sans usine devaient faire concurrence aux propres produits des fabricants intégrés pour disposer des capacités, ce qui limitait leurs croissance et innovation. »

« La fondation de TSMC en 1987 a marqué le début d'une nouvelle industrie spécialisée qui se consacrait entièrement à fournir des capacités de production pour les innovations de ces entreprises sans usine. Une fonderie du secteur des semi-conducteurs comme TSMC concentre ses ressources à accroître ses capacités de fabrication et progrès en technologie des procédés de fabrication. Ainsi, les sociétés de conception qui n'exploitent pas d'usine peuvent externaliser leurs activités de production et affecter toutes leurs ressources à la conception de produits et à l'innovation. Puisque les fonderies s'engagent constamment à fournir des capacités de fabrication et à faire des progrès technologiques, les innovateurs du

domaine des semi-conducteurs peuvent laisser libre cours à leur créativité et accroître sans cesse la gamme de produits qui améliorent la vie des gens. »

« Une approche à long terme est nécessaire dans l'industrie des semi-conducteurs pour collaborer avec les universités et fournir aux écoles les ressources et le soutien dont elles ont besoin pour développer les professionnels du domaine des semi-conducteurs de demain. »

« L'Ontario tire parti d'une économie et d'environnement politique stables, d'une filière énergétique fiable et peu coûteuse et de sa proximité avec les États-Unis, le plus grand marché de matériel électronique au monde. Le Canada peut selon moi développer l'industrie des semi-conducteurs au pays moyennant une approche cohérente à long terme axée sur l'éducation et la formation. »

« Il existe des synergies entre le secteur des semi-conducteurs et les industries en place et domaines de recherche actuels de l'Ontario. Par exemple, l'Ontario compte sur d'excellents chercheurs dont les travaux portent sur l'apprentissage machine et l'intelligence artificielle, qui sont essentiels notamment aux systèmes avancés d'aide à la conduite des véhicules et aux puces de gestion d'énergie nécessaires à la production de batteries pour VE. Le matériel et l'architecture de silicium sous-jacents sont des éléments indispensables des systèmes de véhicules autonomes et écologiques. Sans les semi-conducteurs sous-jacents, les systèmes ne peuvent répondre aux exigences en matière de performance, de puissance et de rapport taille-poids. »

Professeur Wai Tung Ng

Wai Tung enseigne à l'université de Toronto depuis 30 ans. Durant cette période, ses travaux ont surtout porté sur les dispositifs à semi-conducteur et les circuits intégrés de puissance. Plus récemment, il a travaillé avec un fabricant de pièces automobiles local au développement de modules d'alimentation à refroidissement liquide.

« L'Ontario joue un rôle essentiel dans la conception de dispositifs à semi-conducteur. On retrouve une concentration de sociétés de conception de calibre mondial dans le corridor qui s'étend d'Ottawa à Waterloo. »

« L'Université de Toronto, l'Université de Waterloo, l'Université de Windsor, l'Université McMaster, l'Université York, l'Université Queens et l'Université Carleton comptent toutes en leur rang des finissants qui vont lancer leur propre entreprise spécialisée dans les semi-conducteurs. Il est primordial pour l'Ontario d'avoir une solide industrie des semi-conducteurs qui peut embaucher ces diplômés et faire en sorte de conserver les talents en Ontario. »

« Pour attirer d'éventuels fabricants de semi-conducteurs en Ontario, le gouvernement peut commencer par proposer des incitatifs semblables à ceux offerts aux entreprises de fabrication de batteries. Le moment est tout indiqué pour solliciter des investissements étrangers. Le Canada a beaucoup à offrir, y compris de l'énergie bon marché et un vaste territoire. De plus, l'industrie de la fabrication de semi-conducteurs est assez propre sur le plan de la pollution. Il y a une réglementation et des technologies matures pour aider ces usines à produire une quantité minimale d'émissions. »

Cinquième entretien

5. Glossaire

ADAS	Systèmes avancés d'aide à la conduite
AM	Apprentissage machine
CI	Circuits intégrés / puces
CIO	Centre d'innovation de l'Ontario
CMOS	Semi-conducteur à oxyde de métal complémentaire
CNRC	Conseil national de recherches Canada
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
DAO	Composants distincts, analogiques et autres
EMS	Services de fabrication de matériel électronique
FEO	Fabricants d'équipement d'origine
IA	Intelligence artificielle
IdO	Internet des objets

iVZE	Programme d'incitatifs pour les véhicules zéro émission
MCI	Moteur à combustion interne
MEMS	Microsystèmes électromécaniques
PAEN	Programme Avantage énergétique pour le Nord
PIVEZ	Programme d'infrastructure pour les véhicules à émission zéro
PTPGP	Accord de Partenariat transpacifique global et progressiste
ROIV	Réseau ontarien d'innovation pour les véhicules
SRDT	Sites régionaux pour le développement des technologies
TCAC	Taux de croissance annuel composé
VCA	Véhicule connecté et autonome
VE	Véhicules électriques

6. À propos du ROIV

Le ROIV est un élément clé de Piloter la prospérité phase 2, l'ambitieux plan du gouvernement de l'Ontario qui positionne la province à titre de chef de file nord-américain pour concevoir et construire la voiture de l'avenir grâce aux technologies émergentes et aux processus de fabrication de pointe. Le gouvernement de l'Ontario a engagé une somme supplémentaire de 56,4 millions de dollars, qui s'inscrit dans un investissement total de 141 millions de dollars jusqu'à maintenant, au titre des programmes novateurs du ROIV pour soutenir le financement de la recherche et du développement (R-D), le développement des talents, l'accélération de la technologie, le soutien technique et commercial et les activités de mise à l'essai et de démonstration.

Dirigé par le Centre d'innovation de l'Ontario (CIO), le ROIV est soutenu par le ministère du Développement économique, de la Création d'emplois et du Commerce (MDECEC) et le ministère des Transports (MTO) de l'Ontario.

L'initiative englobe cinq programmes distincts et un carrefour central. Les programmes du ROIV sont :

- Fonds de partenariats en R-D
- Développement des talents
- Sites régionaux pour le développement de technologies
- Zone pilote
- Projet Arrow

Le carrefour central du ROIV est le moteur de la programmation et de la coordination des activités et des ressources de la province et émane de la volonté de l'Ontario de jouer un rôle de premier plan dans l'avenir des secteurs de l'automobile et de la mobilité à l'échelle mondiale. Dirigé par une équipe dévouée, le carrefour assume des fonctions de premier plan, en étant :

- le point de convergence de tous les intervenants de la province;
- un pont pour les partenariats de collaboration entre l'industrie, les établissements d'enseignement supérieur, les organismes du secteur public, les municipalités et le gouvernement;
- un « concierge » pour les nouveaux venus dans l'écosystème florissant de l'Ontario;
- un carrefour pour la tenue d'activités d'éducation du public, de recherche, d'analyse et de leadership éclairé, la mobilisation de groupes d'intervenants et la promotion du potentiel de ces technologies et des possibilités qu'elles offrent à l'Ontario et à ses partenaires.

Pour prendre connaissance des dernières nouvelles, rendez-vous au www.ovinhub.ca ou suivez le compte @OVINhub du ROIV sur les médias sociaux.

7. Objectifs du ROIV



Favoriser la mise au point et la commercialisation de technologies automobiles avancées et de solutions de mobilité intelligente mises au point en Ontario.



Présenter l'Ontario comme le chef de file dans le développement, la mise à l'essai, y compris les projets pilotes, et l'adoption des dernières technologies de transport et d'infrastructures.



Favoriser l'innovation et la collaboration au sein du réseau croissant d'intervenants à la convergence de l'automobile et de la technologie.



Exploiter et retenir les talents hautement compétents de l'Ontario et préparer la main-d'œuvre de l'Ontario aux emplois de l'avenir dans le secteur de l'automobile et de la mobilité.



Exploiter les forces et les capacités régionales de la province et soutenir ses pôles automobile et technologique.

8. L'équipe du ROIV

Équipe de l'automobile et de la mobilité



Raed Kadri

Directeur du Réseau ontarien
d'innovation pour les véhicules
rkadri@oc-innovation.ca



Mona Eghanian

Vice-présidente adjointe
ROIV
meghanian@oc-innovation.ca



Greg Gordon

Directeur des partenariats
stratégiques
ggordon@oc-innovation.ca



Dan Ruby

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



Ghazal Momen

Responsable
Partenariats stratégiques
gmomen@oc-innovation.ca



Stephanie Rodrigues

Responsable
Initiatives stratégiques
srodrigues@oc-
innovation.ca



John George

Responsable sectoriel
Véhicules électriques
jgeorge@oc-innovation.ca



Shane Daly

Gestionnaire du portefeuille
de programmes
Automobile et mobilité
sdaly@oc-innovation.ca



Natalia Rogacki

Gestionnaire de portefeuille
Automobile et mobilité
nrogacki@oc-innovation.ca



Joelle Monje

Spécialiste de la sensibilisation
et de la mobilisation
jmonje@oc-innovation.ca



Homeira Afshar

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



Srikanth Ramesh

Stratège
de l'innovation
sramesh@oc-innovation.ca



Shirin Sabahi

Coordonnatrice d'équipe
ssabahi@oc-innovation.ca

Équipe, Compétences, talents et perfectionnement de la main-d'œuvre



Natalia Lobo
Gestionnaire de projet
nlobo@oc-innovation.ca



Alèque Juneau
Cheffe de projet
Perfectionnement de la
main-d'œuvre
ajuneau@oc-innovation.ca



Shannon M. Miller
Cheffe de projet
Partenariats stratégiques
smiller@oc-innovation.ca



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



Deepan Parikh
Analyste technique
dparikh@oc-innovation.ca

9. Avis de non-responsabilité

Le présent rapport a été rédigé par Arup Canada Inc. pour le compte du Centre d'innovation de l'Ontario o à la suite d'une demande de propositions intitulée « Ontario Vehicle Innovation Network (OVIN) – Annual Comprehensive Sector Report & Quarterly Specialized Reports » datée du 25 août 2023. 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. Elles doivent être considérées comme des illustrations d'ordre général, non pas comme une description exacte des concepts présentés.

© CIO, 2023 Tous droits réservés.

10. Références

- ¹ Fortune Business Insights. (Avril 2022). The global semiconductor market is projected to grow from \$573.44 billion in 2022 to \$ 1,380.79 billion by 2029, at a CAGR of 12.2% in forecast period, 2022-2029. <https://www.fortunebusinessinsights.com/semiconductor-market-102365>
- ² McKinsey & Company. (Avril 2022). The semiconductor decade: A trillion-dollar industry. <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/the-semiconductor-decade-a-trillion-dollar-industry>
- ³ Ibid.
- ⁴ Deloitte. (2022). The global semiconductor talent shortage. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/technology/articles/global-semiconductor-talent-shortage.html>
- ⁵ Center for Strategic & International Studies, CSIS. (Février 2022). Chip Shortages in the Light of Geopolitics and Climate Change. <https://www.csis.org/blogs/strategic-technologies-blog/chip-shortages-light-geopolitics-and-climate-change>
- ⁶ Gouvernement du Canada. (Juin 2021). La ministre Ng souligne l'importance du matériel informatique et des semiconducteurs fabriqués au Canada lors de la conférence HardTech de ventureLAB. <https://www.canada.ca/fr/developpement-economique-sud-ontario/nouvelles/2021/06/la-ministre-ng-souligne-limportance-du-materiel-informatique-et-des-semiconducteurs-fabriques-au-canada-lors-de-la-conference-hardtech-de-venturelab.html>
- ⁷ Semiconductor Industry Association et Boston Consulting Group. (Avril 2021). Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era. <https://www.semiconductors.org/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain-in-an-uncertain-era/>
- ⁸ Semiconductor Industry Association. (Octobre 2023). What is a Semiconductor?. <https://www.semiconductors.org/semiconductors-101/what-is-a-semiconductor/>
- ⁹ Ibid.
- ¹⁰ Semiconductor Industry Association et Boston Consulting Group. (Avril 2021). Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era. <https://www.semiconductors.org/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain-in-an-uncertain-era/>
- ¹¹ Semiconductor Industry Association. (s.d.). What is a Semiconductor? <https://www.semiconductors.org/semiconductors-101/what-is-a-semiconductor/>

-
- ¹² Visual Capitalist. (Décembre 2021). Visualizing The Global Semiconductor Supply Chain. <https://www.visualcapitalist.com/sp/visualizing-the-global-semiconductor-supply-chain/>
- ¹³ Electronics Sourcing. (Mai 2022). How Many Chips Are In Our Cars? <https://electronics-sourcing.com/2022/05/04/how-many-chips-are-in-our-cars/>
- ¹⁴ Canada's Semiconductor Council. (Novembre 2021). Roadmap to 2050: Canada's Semiconductor Action Plan. <https://canadasemiconductorcouncil.com/news/>
- ¹⁵ Saurabh Singh. (Septembre 2023). Semiconductors in the Automotive Industry: A Game Changer for the Tech-First Automobile Space. Appinventiv. <https://appinventiv.com/blog/benefits-of-semiconductor-technology-in-automotive/>
- ¹⁶ Ibid.
- ¹⁷ Ibid.
- ¹⁸ Ibid.
- ¹⁹ Rabobank. (Juin 2023). Mapping Global Supply Chains – The Case of Semiconductors. <https://www.rabobank.com/knowledge/d011371771-mapping-global-supply-chains-the-case-of-semiconductors>
- ²⁰ Hiroyuki Okabe. (Août 2023). The future of semiconductor procurement - The changing semiconductor supply chain. EY. https://www.ey.com/en_jp/supply-chain/the-future-of-semiconductor-procurement-in-response-of-changing-semiconductor-supply-chain
- ²¹ Deloitte. (2023). 2023 Semiconductor Industry Outlook. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/technology-media-telecommunications/us-tmt-semiconductor-industry-outlook.pdf>
- ²² Ibid.
- ²³ Deloitte. (2023). 2023 Semiconductor Industry Outlook. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/technology-media-telecommunications/us-tmt-semiconductor-industry-outlook.pdf>
- ²⁴ KPMG. (Février 2023). Global semiconductor industry outlook for 2023. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/sg/pdf/2023/02/Global-semiconductor-industry-outlook-2023-FINAL.pdf>
- ²⁵ La Maison-Blanche. (Mars 2023). Fiche d'information : Renforcer le partenariat entre les États-Unis et le Canada. <https://www.state.gov/translations/french/fiche-dinformation-renforcer-le-partenariat-entre-les-etats-unis-et-le-canada/>

-
- ²⁶ Viola Caon. (Janvier 2023). Asia-Pacific continues to dominate the global semiconductor market. Investment Monitor. <https://www.investmentmonitor.ai/features/asia-pacific-continues-to-dominate-the-global-semiconductor-market/>
- ²⁷ Center for Strategic & International Studies, CSIS. (Février 2022). Chip Shortages in the Light of Geopolitics and Climate Change. <https://www.csis.org/blogs/strategic-technologies-blog/chip-shortages-light-geopolitics-and-climate-change>
- ²⁸ Ibid.
- ²⁹ Hiroyuki Okabe. (Août 2023). The future of semiconductor procurement - The changing semiconductor supply chain. EY. https://www.ey.com/en_jp/supply-chain/the-future-of-semiconductor-procurement-in-response-of-changing-semiconductor-supply-chain
- ³⁰ Rabobank. (Juin 2023). Mapping Global Supply Chains – The Case of Semiconductors. <https://www.rabobank.com/knowledge/d011371771-mapping-global-supply-chains-the-case-of-semiconductors>
- ³¹ Ibid.
- ³² Global Semiconductor Alliance et Accenture. (2020). Globality and Complexity of the Semiconductor Ecosystem. https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-119/Accenture-Globality-Semiconductor-Industry.pdf
- ³³ Semiconductor Industry Association. (Février 2021). Chipmakers Are Ramping Up Production to Address Semiconductor Shortage. Here's Why that Takes Time. <https://www.semiconductors.org/chipmakers-are-ramping-up-production-to-address-semiconductor-shortage-heres-why-that-takes-time/>
- ³⁴ Hiroyuki Okabe. (Août 2023). The future of semiconductor procurement - The changing semiconductor supply chain. EY. https://www.ey.com/en_jp/supply-chain/the-future-of-semiconductor-procurement-in-response-of-changing-semiconductor-supply-chain
- ³⁵ Global Semiconductor Alliance et Accenture. (2020). Globality and Complexity of the Semiconductor Ecosystem. https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-119/Accenture-Globality-Semiconductor-Industry.pdf
- ³⁶ Ibid.
- ³⁷ KPMG. (2022). Sondage de KPMG sur l'automobile 2022. <https://kpmg.com/ca/fr/home/insights/2022/01/kpmg-2022-auto-poll.html>
- ³⁸ Agence internationale de l'énergie. (Avril 2023). Global EV Outlook 2023. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/dacf14d2-eabc-498a-8263-9f97fd5dc327/GEVO2023.pdf>
- ³⁹ Ibid.

-
- ⁴⁰ Gouvernement du Canada. (Janvier 2023). Le gouvernement du Canada lancun nouveau modèle d’attribution de fonds pour l’aménagement d’infrastructures pour véhicules à émission zéro. <https://www.canada.ca/fr/ressources-naturelles-canada/nouvelles/2023/01/le-gouvernement-du-canada-lance-un-nouveau-modele-dattribution-de-fonds-pour-lamenagement-dinfrastructures-pour-vehicules-a-emission-zero.html>
- ⁴¹ Gouvernement du Canada. (Mai 2023). Plan de réduction des émissions pour 2030 – Aperçu secteur par secteur : Transport. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/plan-climatique/survol-plan-climatique/reduction-emissions-2030/aperçu-secteur.html#secteur6>
- ⁴² Ibid.
- ⁴³ Canada’s Semiconductor Council. (Novembre 2021). Roadmap to 2050: Canada’s Semiconductor Action Plan. <https://canadasemiconductorcouncil.com>
- ⁴⁴ Ibid.
- ⁴⁵ Lucintel. (Janvier 2022). Power Semiconductors in the Global Renewable Energy Market Report: Trends, Forecast and Competitive Analysis. https://www.reportlinker.com/p06244226/Power-Semiconductors-in-the-Global-Renewable-Energy-Market-Report-Trends-Forecast-and-Competitive-Analysis.html?utm_source=GNW
- ⁴⁶ Gouvernement du Canada. (Décembre 2022 Objectifs de ventes réglementées proposés pour les véhicules zéro émission. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/nouvelles/2022/12/objectifs-de-ventes-reglementees-proposes-pour-les-vehicules-zero-emission.html>
- ⁴⁷ Pádraig Belton. (Septembre 2021). The computer chip industry has a dirty climate secret. The Guardian. <https://www.theguardian.com/environment/2021/sep/18/semiconductor-silicon-chips-carbon-footprint-climate>
- ⁴⁸ Ibid.
- ⁴⁹ Ibid.
- ⁵⁰ Ibid.
- ⁵¹ Ibid.
- ⁵² Center for Strategic & International Studies, CSIS. (Février 2022). Chip Shortages in the Light of Geopolitics and Climate Change. <https://www.csis.org/blogs/strategic-technologies-blog/chip-shortages-light-geopolitics-and-climate-change>

-
- ⁵³ McKinsey & Company. (Septembre 2022). How semiconductor makers can turn a talent challenge into a competitive advantage. <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/how-semiconductor-makers-can-turn-a-talent-challenge-into-a-competitive-advantage>
- ⁵⁴ Ibid.
- ⁵⁵ Deloitte. (2022). The global semiconductor talent shortage. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/technology/articles/global-semiconductor-talent-shortage.html>
- ⁵⁶ Statistique Canada. (2023). Tableau 36-10-0489-01 – Statistiques du travail conformes au Système de comptabilité nationale (SCN), selon la catégorie d'emploi et l'industrie. https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610048901&request_locale=fr
- ⁵⁷ McKinsey & Company. (Septembre 2022). How semiconductor makers can turn a talent challenge into a competitive advantage. <https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/how-semiconductor-makers-can-turn-a-talent-challenge-into-a-competitive-advantage>
- ⁵⁸ Semiconductor Industry Association. (Juillet 2023). Chipping Away: Assessing and Addressing the Labor Market Gap Facing the US Semiconductor Industry. <https://www.semiconductors.org/chipping-away-assessing-and-addressing-the-labor-market-gap-facing-the-u-s-semiconductor-industry/>
- ⁵⁹ Semiconductor Industry Association. (Mai 2021). Chipping in: the U.S. Semiconductor Industry Workforce and how Federal Incentives will increase domestic jobs. https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/SIA-Impact_May2021-FINAL-May-19-2021_2.pdf
- ⁶⁰ Canada's Semiconductor Council. (Novembre 2021). Roadmap to 2050: Canada's Semiconductor Action Plan. <https://canadasemiconductorcouncil.com/news/>
- ⁶¹ Ibid.
- ⁶² Ibid.
- ⁶³ Ibid.
- ⁶⁴ Statistique Canada. (2023). Tableau 36-10-0489-01 – Statistiques du travail conformes au Système de comptabilité nationale (SCN), selon la catégorie d'emploi et l'industrie. https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610048901&request_locale=fr

-
- ⁶⁵ Catapult Network. (s.d.). We're facing a global compound semiconductor skills shortage: what now. Innovate UK. <https://catapult.org.uk/our-work/case-studies/were-facing-a-global-compound-semiconductor-skills-shortage-what-now/>
- ⁶⁶ Ibid.
- ⁶⁷ Ibid.
- ⁶⁸ Semiconductor Industry Association. (Juillet 2023). Chipping Away: Assessing and Addressing the Labor Market Gap Facing the US Semiconductor Industry. <https://www.semiconductors.org/chipping-away-assessing-and-addressing-the-labor-market-gap-facing-the-u-s-semiconductor-industry/>
- ⁶⁹ La Maison-Blanche. (Août 2022). Fiche d'information : CHIPS and Science Act Will Lower Costs, Create Jobs, Strengthen Supply Chains, and Counter China. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/08/09/fact-sheet-chips-and-science-act-will-lower-costs-create-jobs-strengthen-supply-chains-and-counter-china/>
- ⁷⁰ McKinsey & Company. (Octobre 2022). The CHIPS and Science Act: Here's what's in it. <https://www.mckinsey.com/industries/public-sector/our-insights/the-chips-and-science-act-heres-whats-in-it>
- ⁷¹ Semiconductor Industry Association. (Décembre 2022) The CHIPS Act Has Already Sparked \$200 Billion in Private Investments for U.S. Semiconductor Production. <https://www.semiconductors.org/the-chips-act-has-already-sparked-200-billion-in-private-investments-for-u-s-semiconductor-production/>
- ⁷² Gouvernement de l'Ontario. (2023). Alimenter la croissance de l'Ontario : Plan de l'Ontario pour un avenir énergétique propre. <https://www.ontario.ca/files/2023-07/energy-powering-ontarios-growth-report-fr-2023-07-07.pdf>
- ⁷³ ROIV. (s.d.). Programmes. Gouvernement de l'Ontario. <https://www.ovinhub.ca/fr/programmes/>
- ⁷⁴ CRSNG. (2022). Base de données sur les subventions et bourses du CRSNG. https://www.nserc-crsng.gc.ca/ase-oro/index_fra.asp
- ⁷⁵ Investir au Canada. (Octobre 2021). Pourquoi le Canada est la solution à la pénurie mondiale de semi-conducteurs. <https://www.investircanada.ca/news/pourquoi-canada-est-solution-penurie>
- ⁷⁶ Gouvernement du Canada. (2023). Accord de libre-échange Canada-Corée. <https://www.international.gc.ca/trade-commerce/trade-agreements-accords-commerciaux/agr-acc/korea-coree/index.aspx?lang=fra>

-
- ⁷⁷ Gouvernement du Canada. (2023). L'Accord de Partenariat transpacifique global et progressiste (PTPGP). <https://www.international.gc.ca/trade-commerce/trade-agreements-accords-commerciaux/agr-acc/cptpp-ptpgp/index.aspx?lang=fra>
- ⁷⁸ Jenna Sudds. (Mars 2023). Investing in Ranovus to further advance Canada's semiconductor industry. Gouvernement du Canada. <https://jennasuddsmp.ca/news/ranovus>
- ⁷⁹ Ibid.
- ⁸⁰ Commission géologique de l'Ontario. (2022). Une introduction aux minéraux critiques de l'Ontario, avec les points saillants de l'Inventaire des minéraux de l'Ontario (en anglais seulement). https://www.geologyontario.mndm.gov.on.ca/mines/ogs/rgp/Ontarios_Critical_Minerals_Introduction.pdf
- ⁸¹ Association minière de l'Ontario. (2022). Facts and Figures. https://oma.on.ca/en/ontario-mining/facts_figures.aspx
- ⁸² Statistique Canada. (2023). Tableau 36-10-0402-01 – Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, par industries, provinces et territoires (x 1 000 000). https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610040201&request_locale=fr
- ⁸³ Statista. (2023). Semiconductors – Canada. <https://www.statista.com/outlook/tmo/semiconductors/canada?currency=CAD>
- ⁸⁴ Statista. (2023). Semiconductors - United Kingdom. <https://www.statista.com/outlook/tmo/semiconductors/united-kingdom?currency=CAD>
- ⁸⁵ Gouvernement du Canada. (2022). Recherche par industrie (code SCIAN) - données sur le commerce en direct. <https://www.ic.gc.ca/app/scr/tdst/tdo/crtr.html?&productType=NAICS&lang=fra>
- ⁸⁶ Ibid.
- ⁸⁷ Ibid.
- ⁸⁸ Ibid.
- ⁸⁹ Ibid.
- ⁹⁰ Ibid.
- ⁹¹ Gouvernement du Canada. (Juin 2021). La ministre Ng souligne l'importance du matériel informatique et des semiconducteurs fabriqués au Canada lors de la conférence HardTech de ventureLAB. <https://www.canada.ca/fr/developpement-economique-sud-ontario/nouvelles/2021/06/la-ministre-ng-souligne-limportance-du-materiel-informatique-et-des-semiconducteurs-fabriques-au-canada-lors-de-la-conference-hardtech-de-venturelab.html>

-
- ⁹² Statistique Canada. (2023). Tableau 14-10-0202-01 – Emploi selon l'industrie, données annuelles https://www150.statcan.gc.ca/t1/tb11/fr/cv.action?pid=1410020201&request_locale=fr
- ⁹³ Ibid.
- ⁹⁴ Ibid.
- ⁹⁵ Gouvernement du Canada. (Mars 2023). Le gouvernement du Canada investit dans Ranovus pour favoriser la croissance du secteur canadien des semi-conducteurs. <https://www.canada.ca/fr/innovation-sciences-developpement-economique/nouvelles/2023/03/le-gouvernement-du-canada-investit-dans-ranovus-pour-favoriser-la-croissance-du-secteur-canadien-des-semi-conducteurs.html>
- ⁹⁶ ventureLAB. (s.d.). About. <https://www.venturelab.ca/about>
- ⁹⁷ ROIV. (s.d.). Sites régionaux pour le développement des technologies. <https://www.ovinhub.ca/fr/lecosysteme/sites-regionaux-de-developpement-de-technologies/>
- ⁹⁸ ventureLAB. (s.d.). Hardware Catalyst Initiative. <https://www.venturelab.ca/programs/hardware-catalyst-initiative>
- ⁹⁹ Ibid.
- ¹⁰⁰ Investir Ottawa. (Février 2021). TSMC: Doubling down on Ottawa. <https://www.investottawa.ca/blog/tsmc-doubling-down-on-ottawa/>
- ¹⁰¹ Canada's Semiconductor Council. (Novembre 2021). Roadmap to 2050: Canada's Semiconductor Action Plan. <https://canadasemiconductorcouncil.com/news/>
- ¹⁰² Teledyne DALSA. (s.d.). Profil de l'entreprise. <https://www.teledynedalsa.com/fr/entreprise/profil-de-lentreprise/>
- ¹⁰³ Onsemi. (s.d.). About onsemi. <https://www.onsemi.com/company/about-onsemi>
- ¹⁰⁴ Celestica. (s.d.). Unlock the potential of the future. <https://www.celestica.com/about-us/who-we-are>
- ¹⁰⁵ IBM. (s.d.). À propos d'IBM. <https://www.ibm.com/ca-fr/about?lnk=flathl>
- ¹⁰⁶ CRSNG. (2022). Base de données sur les subventions et bourses du CRSNG. https://www.nserc-crsng.gc.ca/ase-oro/index_fra.asp
- ¹⁰⁷ Université Carleton. (s.d.). Research Areas. <https://carleton.ca/doe/research-areas/>
- ¹⁰⁸ Université McMaster. (s.d.). Microelectronics & VLSI. <https://www.eng.mcmaster.ca/ece/research/areas-of-specialization/microelectronics-vlsi/>

-
- ¹⁰⁹ Canada's Semiconductor Council. (Novembre 2021). Roadmap to 2050: Canada's Semiconductor Action Plan. <https://canadassemicouncil.com/news/>
- ¹¹⁰ Gouvernement du Canada. (s.d.). Le Canada et le G20. https://www.international.gc.ca/world-monde/international_relations-relations_internationales/g20/index.aspx?lang=fra#a1
- ¹¹¹ Investir au Canada. (Octobre 2021). Pourquoi le Canada est la solution à la pénurie mondiale de semi-conducteurs. <https://www.investircanada.ca/news/pourquoi-canada-est-solution-penurie>
- ¹¹² Gouvernement du Canada. (Février 2022). Le gouvernement du Canada annonce un important investissement dans les industries canadiennes des semi-conducteurs et de la photonique. <https://www.canada.ca/fr/innovation-sciences-developpement-economique/nouvelles/2022/02/le-gouvernement-du-canada-annonceun-important-investissement-dans-les-industries-canadiennes-des-semi-conducteurs-et-de-la-photonique.html>
- ¹¹³ Gouvernement du Canada. (2013). Zone franche. <https://www.canada.ca/fr/ministere-finances/programmes/politiques-finances-echanges-internationaux/zone-franche.html#a2>
- ¹¹⁴ La Maison-Blanche. (Mars 2023). Fiche d'information : Renforcer le partenariat entre les États-Unis et le Canada. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2023/03/24/fact-sheet-strengthening-the-united-states-canada-partnership/>
- ¹¹⁵ Ibid.
- ¹¹⁶ Institut canadien de recherches avancées (CIFAR). (s.d.). Stratégie pancanadienne en matière d'IA. <https://cifar.ca/ai/#topskipToContent>
- ¹¹⁷ Center for Strategic & International Studies, CSIS. (Mai 2023). Can North America Become a Semiconductor Powerhouse? <https://www.csis.org/analysis/can-north-america-become-semiconductor-powerhouse>
- ¹¹⁸ Gouvernement du Canada. (Septembre 2022). Le défi Approvisionnement en semi-conducteurs. <https://www.ic.gc.ca/eic/site/125.nsf/frm-fra/LCOE-CBXKRY>
- ¹¹⁹ Gouvernement de l'Ontario. (Mars 2023). Programme Avantage énergétique pour le Nord. <https://www.ontario.ca/fr/page/programme-avantage-energetique-pour-le-nord>
- ¹²⁰ Gouvernement de l'Ontario. (Janvier 2022). Les entreprises ontariennes verront pleinement l'impact des réductions des tarifs d'électricité en 2021. <https://news.ontario.ca/fr/release/1001459/les-entreprises-ontariennes-verront-pleinement-limpact-des-reductions-des-tarifs-delectricite-en-2021>

-
- ¹²¹ Canada's Semiconductor Council. (Novembre 2021). Roadmap to 2050: Canada's Semiconductor Action Plan. <https://canadasemiconductorcouncil.com/news/>
- ¹²² Ibid.
- ¹²³ Ibid.
- ¹²⁴ Gouvernement du Canada. (Novembre 2019). Forces et priorités du Canada en matière d'innovation. <https://www.deleguescommerciaux.gc.ca/innovators-innovateurs/strategies.aspx?lang=fra>
- ¹²⁵ Gouvernement du Canada. (s.d.). Le Canada et le G7. https://www.international.gc.ca/world-monde/international_relations-relations_internationales/g7/index.aspx?lang=fra
- ¹²⁶ SILICAN. (Octobre 2023). First steps for Canada. <https://www.slideshare.net/CouncilofCanadianInn1/first-steps-for-canada-silican>
- ¹²⁷ Canada's Semiconductor Council. (Novembre 2021). Roadmap to 2050: Canada's Semiconductor Action Plan. <https://canadasemiconductorcouncil.com/news/>
- ¹²⁸ Association minière de l'Ontario. (2022). Facts and Figures. https://oma.on.ca/en/ontario-mining/facts_figures.aspx
- ¹²⁹ Commission géologique de l'Ontario. (2022). Une introduction aux minéraux critiques de l'Ontario, avec les points saillants de l'Inventaire des minéraux de l'Ontario (en anglais seulement). https://www.geologyontario.mndm.gov.on.ca/mines/ogs/rgp/Ontarios_Critical_Minerals_Introduction.pdf
- ¹³⁰ Ressources naturelles Canada. (Avril 2023). Exploration minérale Ontario 2023. <https://files.ontario.ca/mines-mineral-exploration-ontario-2023-fr-2023-05-29.pdf>
- ¹³¹ CRM Alliance. (s.d.). Germanium. <https://www.crmalliance.eu/germanium>
- ¹³² CRM Alliance. (s.d.). Gallium. <https://www.crmalliance.eu/gallium>
- ¹³³ Clement Tan. (Juillet 2023). China slaps export curbs on chipmaking metals in tech war warning to U.S., Europe. CNBC. <https://www.cnbc.com/2023/07/04/china-imposes-export-curbs-on-chipmaking-metals-in-tech-war-with-the-us.html>
- ¹³⁴ Canada's Semiconductor Council. (Novembre 2021). Roadmap to 2050: Canada's Semiconductor Action Plan. <https://canadasemiconductorcouncil.com/news/>
- ¹³⁵ Ibid.

-
- ¹³⁶ Université de Windsor. (s.d.). Centre for Hybrid Automotive Research and Green Energy (CHARGE) Lab. <https://www.uwindsor.ca/engineering/research/383/test>
- ¹³⁷ Université de Waterloo. (s.d.). Welcome to the Waterloo Centre for Electrochemical Energy. <https://uwaterloo.ca/centre-electrochemical-energy/>
- ¹³⁸ ROIV. (s.d.). Fonds de partenariats en R-D – Véhicules électriques (VE) – volet 1 <https://www.ovinhub.ca/fr/programmes/fonds-de-partenariats-en-r-d-vehicules-electriques-ve-volet-1/>
- ¹³⁹ ROIV. (s.d.). Projet Arrow. <https://www.ovinhub.ca/fr/projet-arrow/>
- ¹⁴⁰ Ibid.
- ¹⁴¹ Canada's Semiconductor Council. (Novembre 2021). Roadmap to 2050: Canada's Semiconductor Action Plan. <https://canadassemiconductorcouncil.com/news/>
- ¹⁴² Ibid.
- ¹⁴³ Université de Waterloo. (s.d.). Welcome to Sensors and Integrated Microsystems Laboratory. <https://uwaterloo.ca/sensors-integrated-microsystems-lab/>
- ¹⁴⁴ Université de Waterloo. (s.d.). Nano and Micro Systems Lab. <https://uwaterloo.ca/nano-micro-systems-lab>
- ¹⁴⁵ Caterina Favino. (Octobre 2022). The Role of Semiconductors in the Renewable Energy Transition. <https://earth.org/semiconductors/>
- ¹⁴⁶ Environment Journal. (Mars 2023). Ontario launches Hydrogen Innovation Fund to kickstart opportunities. <https://environmentjournal.ca/ontario-launches-hydrogen-innovation-fund-to-kickstart-opportunities/>
- ¹⁴⁷ Investissements Ontario (s.d.). TECHNOLOGIES PROPRES. Gouvernement de l'Ontario. <https://www.investontario.ca/fr/technologies-propres>