

RAPPORTS SPÉCIALISÉS DU RIVA

JANVIER 2020



COMPÉTENCES ET TALENTS POUR LA MOBILITÉ DE L'AVENIR

Recenser les besoins et combler les lacunes



TABLE DES MATIÈRES



| | |
|----|------------------------------------|
| 03 | INTRODUCTION |
| 05 | COMPÉTENCES ET TALENTS |
| 06 | COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES |
| 18 | COMPÉTENCES MATHÉMATIQUES |
| 20 | COMPÉTENCES GÉNÉRALES |
| 22 | DÉFIS |
| 26 | PISTES DE SOLUTION |
| 32 | CONTRIBUTIONS DE L'ONTARIO |
| 33 | CONCLUSIONS |
| 35 | GLOSSAIRE DES TERMES TECHNIQUES |
| 37 | L'ÉQUIPE DU RIVA |
| 38 | À PROPOS DU RIVA |



INTRODUCTION

L'industrie de l'automobile et de la mobilité connaît l'une de ses mutations les plus importantes avec le développement des véhicules intelligents et des services de mobilité. De précédents rapports spécialisés du RIVA ont examiné les possibilités de services élargis, au-delà du transport¹, associées aux véhicules connectés, et l'effet transformateur que les véhicules autonomes sont appelés à avoir sur l'avenir du transport et d'autres secteurs névralgiques².

Pour pleinement exploiter les occasions qu'offre cette révolution de la mobilité, il faudra de nouvelles méthodes pour préparer les compétences et les talents de demain.

Le site mondial de recherche d'emplois Indeed a révélé en 2018 que le nombre de recherches portant sur des termes liés à la mobilité de l'avenir, tels « véhicule autonome » ou « véhicule sans conducteur », avait connu une hausse de 668 % depuis 2015³. D'après l'entreprise de recrutement ZipRecruiter, le nombre de postes affichés dans ce secteur a également augmenté de 27 % d'une année sur l'autre, pour faire un bond de 250 % au deuxième trimestre de 2018 par rapport à la même période en 2017⁴.

« L'industrie aura besoin d'une armée de gens pour créer ces systèmes autonomes⁵. »

Graeme Smith, premier v.-p. d'Oxbotica⁶

Outre la demande et l'intérêt marqués dont font l'objet les emplois de la mobilité de l'avenir, Indeed signale qu'à la lumière de l'analyse des postes offerts et des données des recruteurs, les candidats dans ce secteur

¹ Réseau d'innovation pour les véhicules automatisés. *Les possibilités pour les véhicules connectés au-delà du transport*, 2019. Récupéré de : <https://tinyurl.com/s8g6vq3>

² Réseau d'innovation pour les véhicules automatisés. *Les véhicules autonomes — Possibilités et considérations intersectorielles*, 2019. Récupéré de : <https://tinyurl.com/s5kurog>

³ Indeed. « Which Hiring Trends are Steering the Future of Self-Driving Vehicles? », 2018. Récupéré de : <http://blog.indeed.com/2018/10/11/autonomous-vehicles-hiring-trends/>

⁴ ZipRecruiter. « This is Who's Driving the Autonomous Car Revolution ». Récupéré de :

<https://www.ziprecruiter.com/blog/this-is-whos-driving-the-autonomous-car-revolution/>

⁵ R. Gray. « Driving your career towards a booming sector », 2018.

Récupéré de : <https://www.bbc.com/worklife/article/20181029-driving-your-career-towards-a-boom-sector>

⁶ Oxbotica est une société de génie logiciel de premier plan dans le domaine de la conduite autonome, qui a été fondée en 2014 par un groupe de professeurs d'Oxford, au Royaume-Uni.



en rapide évolution doivent se doter de compétences pointues. Ainsi, les principales compétences demandées dans les avis d'emplois concernent la programmation informatique et l'intelligence artificielle.

Malgré l'engouement des chercheurs d'emploi pour les carrières dans le domaine de l'automobile et de la mobilité, les entreprises et les recruteurs peinent à attirer et à retenir des employés qualifiés qui possèdent la technicité requise⁷. Cette situation s'explique par la pénurie de main-d'œuvre ayant des compétences numériques, mais plus encore par le large éventail de compétences spécialisées nécessaires au développement des technologies de ce secteur.

Face à la transformation de l'industrie automobile, il est vital que l'Ontario ait une main-d'œuvre capable de mettre au point les nouvelles technologies de la mobilité. Le présent rapport recense les compétences indispensables à l'ère de la mobilité ainsi que les solutions tactiques qui permettront de combler les déficits de talents. Il passe en revue les compétences en science, en technologie, en ingénierie et en

mathématiques (STIM) associées aux technologies des véhicules connectés et autonomes (VCA) ainsi que les compétences générales utiles dans la plupart des industries, y compris celle de l'automobile et de la mobilité. Les défis à l'origine de la pénurie de talents dans ce secteur sont également examinés ainsi que les pistes de collaboration qui s'offrent aux entreprises, aux établissements d'enseignement et de formation, et aux gouvernements pour y remédier. Bien que l'horizon d'adoption des VCA reste difficile à préciser, nous croyons fermement qu'il faut s'attaquer sans délai à ces déficits de talents afin de propulser les progrès de l'industrie et récolter les fruits de ces technologies et solutions.



⁷ D. Silver. « Limited talent pool is standing in the way of driverless cars », 2018. Récupéré de :

<https://thenextweb.com/contributors/2018/01/20/limited-talent-pool-standing-way-driverless-cars/>

COMPÉTENCES ET TALENTS





COMPÉTENCES TECHNOLOGIQUES

Comme le signalent de nombreux articles publiés sur les sites de recherche d'emploi, les compétences technologiques de haut niveau sont très demandées par les constructeurs automobiles et les entreprises de mobilité. En effet, les véhicules de l'avenir ne seront plus des engins à moteur actionnés par des humains. Il s'agira plutôt d'un réseau de systèmes automatisés commandés par des ordinateurs à bord. Le développement de ces systèmes automatisés exigera un alliage unique de compétences technologiques, décrites dans les pages qui suivent.

« **En général, il ne suffit pas d'être programmeur ou ingénieur. Si l'on vous engage pour écrire le code ou concevoir le matériel, on s'attend à ce que vous compreniez le tableau d'ensemble⁸.** »

John M. Dolan, scientifique principal des systèmes, Université Carnegie Mellon

⁸ J. Waters. « How to Prepare Students for Jobs in the Self-Driving-Car-Industry », 2019. Récupéré de :

<https://www.edsurge.com/news/2019-02-28-how-to-prepare-students-for-jobs-in-the-self-driving-car-industry>

Informatique

Programmation

La conduite autonome recourt à des centaines de millions de lignes de code dont l'exécution dans les systèmes à bord assure une perception continue de l'environnement et le contrôle du véhicule. La voiture autonome d'aujourd'hui compte environ 250 millions de lignes de code, nombre qui promet de croître à mesure qu'augmentent l'autonomie, la connectivité et l'électrification des véhicules⁹. Au-delà des manœuvres automobiles, les systèmes utilisés pour concevoir et fabriquer ces véhicules complexes font également appel à divers programmes constitués de longs segments de code.

Cette dépendance critique à l'égard des lignes de code met la programmation au premier plan lorsqu'il est question des compétences nécessaires au développement des

technologies de la mobilité. L'équipe d'analyse du site Indeed confirme cette observation, notant que les compétences recherchées en priorité dans les avis d'emploi relatifs aux véhicules autonomes ont trait à la programmation³. Plus précisément, la connaissance des langages C++ et Python arrive en tête des exigences pour travailler dans la filière des véhicules autonomes.

Le **C++** sert couramment à programmer les systèmes matériels des véhicules autonomes. Ce langage est populaire en raison de son efficacité et de sa performance sur le plan de la vitesse et de la gestion de la mémoire, deux facteurs importants pour les systèmes en temps réel utilisés dans les véhicules autonomes. Bien que le C++ soit réputé pour son efficacité, on ne peut se contenter d'en apprendre la syntaxe. Les développeurs chevronnés ont coutume de rappeler qu'un code C++ mal écrit fonctionne souvent moins bien qu'un code bien écrit dans un langage moins efficace. Par conséquent, il leur paraît essentiel d'acquérir des **techniques d'optimisation de code** pour atteindre les performances de haut niveau souhaitées¹⁰.

Le langage **Python** a également la cote chez les développeurs qui travaillent aux technologies des véhicules autonomes, parce



⁹ NXP. « Cars are made of code », 2017. Récupéré de : <https://blog.nxp.com/automotive/cars-are-made-of-code>

¹⁰ M. Morales. « But, Self-Driving Car Engineers don't need to know C/C++, right? », 2017. Récupéré de :

<https://medium.com/@mimoralea/but-self-driving-car-engineers-dont-need-to-know-c-c-right-3230725a7542>

qu'il s'accompagne d'une vaste collection de bibliothèques conviviales^{11,12} qui facilitent les calculs numériques, le maniement et la visualisation des données, l'apprentissage machine et la vision par ordinateur. Ces différents aspects sont essentiels au développement des véhicules autonomes, comme on le verra plus loin.

Il vaut la peine de mentionner que la programmation est au fondement d'autres compétences technologiques. Ainsi, pour créer leurs modèles d'apprentissage machine (AM), les spécialistes doivent les programmer, généralement à partir des bibliothèques Python. L'ingénierie des systèmes intégrés¹³ repose aussi largement sur la programmation et le débogage¹⁴ des systèmes mis au point.

Le fait d'avoir des connaissances de base en programmation représente également un atout pour quiconque s'intéresse aux véhicules autonomes, même sans toucher au côté logiciel de la technologie. Les composants automobiles étant étroitement reliés, le fait d'avoir une vue d'ensemble du fonctionnement du véhicule est important pour concevoir des composants sous-jacents qui interagissent de manière efficace.

Intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA) est la pierre angulaire des véhicules autonomes ainsi qu'un domaine de compétence primordial pour les personnes travaillant dans ce domaine. L'IA fait en sorte que des machines puissent exécuter des tâches humaines. Dans le contexte de la conduite autonome, elle est nécessaire pour reproduire les sens et les réactions des êtres humains et ainsi permettre aux véhicules de rouler sans conducteur.

L'IA est plus particulièrement connue pour son sous-domaine de l'**apprentissage machine**. À l'aide de flux de données recueillies en continu par des capteurs embarqués et des technologies des communications, les spécialistes de l'AM élaborent des modèles qui perçoivent l'environnement immédiat du véhicule et prennent des décisions de conduite éclairées. Pour qu'un véhicule autonome soit fiable, il faut soumettre les modèles d'AM déployés à un processus rigoureux d'entraînement, d'essai et de validation afin de s'assurer qu'ils prennent les bonnes décisions dans chaque scénario de conduite. Comme évoqué plus haut, de nombreux modèles sont accessibles gratuitement sous la forme de bibliothèques

¹¹ scikit-learn, « Machine Learning in Python ». Récupéré de : <https://scikit-learn.org/stable/>

¹² Open Source Computer Vision. « OpenCV-Python Tutorials ». Récupéré de : <https://docs.opencv.org/master/index.html>

¹³ Un système intégré est un système à microcontrôleur ou à microprocesseur conçu pour effectuer une tâche précise et qui dispose

généralement de ressources informatiques limitées. Par exemple, le système de coussin gonflable d'un véhicule est un système embarqué dont la seule fonction est la commande des coussins gonflables.

¹⁴ Le débogage est un processus de diagnostic qui consiste à déceler et éliminer les bogues syntaxiques et sémantiques (c.-à-d. les erreurs de programmation).

de code. Bien qu'il soit possible de prendre ces bibliothèques comme point de départ, au lieu de tout récrire, une solide compréhension des méthodes et des concepts au cœur de l'AM est nécessaire pour interpréter les résultats des modèles mis au point et pour en optimiser la performance et l'exactitude.

L'apprentissage profond est un type d'apprentissage machine qui repose sur des réseaux de neurones artificiels¹⁵. Cette technique d'AM est actuellement privilégiée dans les systèmes de conduite autonome, et le restera sans doute. L'apprentissage profond a vu le jour en 1986, mais ne s'affirme que depuis quelques années, grâce à la multiplication des données disponibles et à l'amélioration des capacités et des vitesses des machines. Vu son succès et ses performances supérieures, l'apprentissage profond fait partie des compétences les plus convoitées dans la filière des véhicules autonomes.

L'IA est aussi couramment utilisée dans l'**interface humain-machine (IHM)** des véhicules. Elle s'acquitte efficacement de tâches comme la reconnaissance de la parole et des gestes, la surveillance du conducteur et l'assistance virtuelle. Il faut s'attendre à ce que les nouvelles percées en matière d'IHM

fassent bondir la demande de talents dans ce domaine¹⁶.

Vision par ordinateur

La vision par ordinateur, aussi appelée vision artificielle, forme un sous-domaine informatique qui a pour but d'amener les machines à voir et à traiter les images comme le font les humains. Élément déterminant de la conduite autonome, la vision par ordinateur est facilitée par l'utilisation de caméras, de lidars et de radars. Les compétences en vision artificielle sont nécessaires au développement de fonctions critiques de haute précision telles que la détection, la classification et le suivi d'objets.

La vision par ordinateur se rattache de près à l'IA dans la mesure où elle simule la vision humaine. Elle constitue l'un des principaux champs d'application de l'apprentissage profond dans le domaine de la conduite autonome, ce qui explique que certains auteurs la considèrent comme une branche de l'IA. Cette conception est inexacte, cependant, puisque la vision par ordinateur englobe aussi les techniques de **traitement d'images et de vidéos**. En réalité, c'est une tâche ardue que d'amener une machine à reconnaître des objets dans des images, et les compétences en traitement d'images sont précieuses à cet

¹⁵ Josh. « Everything You Need to Know About Artificial Neural Networks », 2015. Récupéré de : <https://medium.com/technology-invention-and-more/everything-you-need-to-know-about-artificial-neural-networks-57fac18245a1>

¹⁶ S. Gadam. « Artificial Intelligence and Autonomous Vehicles », 2018. Récupéré de : <https://medium.com/datadriveninvestor/artificial-intelligence-and-autonomous-vehicles-ae877feb6cd2>

égard. Elles permettent de soumettre les images obtenues à des techniques de manipulation et de transformation qui facilitent l'extraction des caractéristiques des objets. Entre autres exemples de techniques de traitement d'images et de vidéos, mentionnons l'étalonnage des caméras et la correction de la distorsion¹⁷.

Analytique et gestion de données

Les véhicules connectés et autonomes (VCA) produisent et assimilent d'énormes quantités de données. D'après Intel¹⁸, un VCA acquiert environ quatre téraoctets de données en temps réel chaque jour par l'intermédiaire de ses capteurs. C'est l'équivalent des données quotidiennes produites par près de 3000 personnes. Ces données font l'objet d'analyses et servent à la prise de décision et à l'automatisation. L'accès aux données volumineuses et la dépendance à leur égard placent l'analyse et la gestion de données aux premiers rangs des compétences attendues des talents de la mobilité de l'avenir.

Au chapitre des compétences en **science des données**, il y a un besoin croissant de scientifiques et d'analystes de données capables de concevoir de meilleurs

algorithmes de compilation, de visualisation et d'analyse pour traiter la vaste quantité de données produites et recueillies par les VCA. Une expertise en **analytique des données massives** représente un atout de taille, voire une exigence, pour le personnel d'analyse de données qui travaille à ces systèmes automobiles intelligents.

La nécessité de composer avec le grand volume de données des VCA pose aussi un redoutable défi sur le plan **de la gestion et du stockage des données** dans le cadre des développements et des opérations des VCA. Des compétences en ce domaine sont fortement nécessaires à la création et à la gestion d'une infrastructure de stockage de données performante et adaptable pour le traitement et la conservation des données. La mise en place d'une telle infrastructure suppose également de comprendre les concepts et les techniques de **l'informatique en périphérie et de l'infonuagique**¹⁹, souvent utilisés à cette fin.

Cybersécurité et protection de la vie privée

Étant donné le caractère vital de la plupart des applications des VCA, il convient d'assurer la **cybersécurité** des systèmes automobiles afin

¹⁷ The MathWorks, Inc. « What Is Camera Calibration? ». Récupéré de : <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/camera-calibration.html>

¹⁸ B. Krzanich. « Data is the New Oil in the Future of Automated Driving », 2016. Récupéré de :

<https://newsroom.intel.com/editorials/krzanich-the-future-of-automated-driving/>

¹⁹ K. Gyarmathy. « Edge Computing vs. Cloud Computing: What You Need to Know », 2019. Récupéré de : <https://www.vxchng.com/blog/edge-computing-vs-cloud-computing>



de mettre les données et les systèmes du véhicule à l'abri des cyberattaques. Les différents acteurs de l'écosystème des VCA — notamment les chercheurs, les fournisseurs de technologies, les fabricants d'équipement d'origine (FEO), les organismes de normalisation et les responsables des politiques — attirent tous l'attention sur cet enjeu à cause des graves répercussions que les menaces à la cybersécurité peuvent avoir sur la sécurité, la vie privée et le bien-être des usagers de la route. Sans surprise, les compétences et l'expertise en cybersécurité font l'objet d'une forte demande. Il est grand besoin de talents dans ce domaine pour étudier les vulnérabilités matérielles et logicielles des systèmes des VCA et pour définir des pratiques optimales et des normes de cybersécurité permettant d'y remédier et de protéger les données et les systèmes des VCA par divers moyens.

Lorsqu'on a affaire à des données provenant de dispositifs personnels comme les véhicules, la protection de la **vie privée** est essentielle. Les données des VCA peuvent révéler des renseignements personnels sur leur conducteur ou leur propriétaire, un scénario qui soulève de légitimes inquiétudes chez les utilisateurs de ces véhicules. Pour éviter les problèmes de cet ordre, les FEO et les fournisseurs de technologies automobiles ont

besoin de spécialistes en protection contre les brèches de données. Ces personnes doivent être en mesure de concevoir des solutions efficaces qui assurent l'anonymisation des données recueillies par les VCA, à moins qu'un consentement légal n'ait été obtenu auprès de leurs utilisateurs.

Cartographie, localisation et planification de parcours

La **localisation** est un élément crucial de tout véhicule autonome. Il s'agit de la capacité qu'a le véhicule de se situer et de suivre ses déplacements avec exactitude. La localisation se fait habituellement au moyen d'un système mondial de navigation par satellite (GNSS), avec une marge d'erreur variant de un à dix mètres. Si cette marge d'erreur est acceptable pour les véhicules conventionnels, elle peut avoir des conséquences fatales dans le cas des véhicules autonomes (VA). La conduite sécuritaire des VA exige une localisation qui soit exacte au centimètre près. Pour développer des solutions répondant à ce besoin, il faut des compétences et de l'expertise dans les techniques de localisation. Cela signifie notamment une compréhension poussée du GNSS, des unités de mesure inertielles (UMI), des lidars, des radars et des caméras ainsi que d'algorithmes tels que les filtres de Kalman et les filtres particulaires²⁰.

²⁰ J. Cohen. « Self-Driving Cars & Localization », 2018. Récupéré de : <https://towardsdatascience.com/self-driving-car-localization-f800d4d8da49>



Un tel bagage de connaissances est requis pour mettre au point des solutions qui combinent des mesures provenant de plusieurs unités et qui produisent le degré d'exactitude voulu.

La **cartographie haute définition (HD)** est un domaine technologique émergent dans le développement des véhicules autonomes. Au-delà de la visibilité assurée par les capteurs, la capacité de perception et la conscience des conditions de conduite locales (par exemple, les panneaux de signalisation et l'infrastructure routière) sont un facteur de sécurité supplémentaire important pour les VA. Ce type de cartographie détaillée permet une localisation de haute précision, une perception plus fine de l'environnement, ainsi qu'une planification et une prise de décision améliorées. D'ailleurs, de nombreux FEO et entreprises de mobilité ont commencé à acquérir des talents et à investir dans la production de cartes très détaillées appelées « cartes HD ». Quantité de nouvelles entreprises se lancent sur le marché de la cartographie HD²¹. Leur essor dans l'industrie suscite une forte demande de compétences reliées au développement des technologies de

cartographie HD et à leur intégration aux technologies de la conduite autonome.

Bien que les technologies de **planification de parcours** pour la navigation des véhicules ne soient pas nouvelles, les percées de la localisation et de la cartographie appellent un savoir-faire pointu. Outre la connaissance des algorithmes de découverte de parcours habituels, il faut être versé dans l'utilisation des technologies de localisation et de cartographie de haute précision pour pouvoir élaborer un parcours en temps réel qui maximise de façon dynamique la distance entre un véhicule et les objets environnants, sans enfreindre les règles de la circulation²².

Fusion des données des capteurs

Les VCA sont équipés d'un large éventail de capteurs qui présentent des capacités diverses²³. Ces capteurs jouent des rôles complémentaires dans l'exécution de missions cruciales pour les VA. Afin d'accroître l'exactitude et la fiabilité de la détection, les données sensorielles recueillies par ces multiples capteurs sont combinées. C'est ce qu'on appelle la fusion des données des capteurs. Les compétences dans ce domaine

²¹ K. Matthews. « What are HD maps, and how will they get us closer to autonomous cars? », 2019. Récupéré de : <https://iot.eetimes.com/what-are-hd-maps-and-how-will-they-get-us-closer-to-autonomous-cars/>

²² P. Ryabchuk. « How Does Path Planning for Autonomous Vehicles Work? », 2018. Récupéré de :

<https://dzone.com/articles/how-does-path-planning-for-autonomous-vehicles-work>

²³ S. Abdelhamid, H. Hassanein, G. Takahara. « Vehicle as a Mobile Sensor », 2014. Récupéré de : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050914008801>

sont très sollicitées, en raison des avantages que la fusion des données apporte aux fonctions critiques comme la perception et la

localisation, notamment en réduisant l'incertitude et en améliorant la précision des mesures²⁴.



²⁴ Intellias. « How Sensor Fusion for Autonomous Cars Helps Avoid Deaths on the Road », 2018. Récupéré de :

<https://www.intellias.com/sensor-fusion-autonomous-cars-helps-avoid-deaths-road/>



Ingénierie

L'ingénierie a toujours été et restera au cœur du développement des technologies automobiles. Les FEO et les fournisseurs de technologies automobiles continueront de faire appel à des ingénieurs pour la conception, la mise à l'essai et la validation de systèmes automobiles fiables et efficaces. La contribution des ingénieurs ne se limite pas au développement des véhicules, toutefois. L'infrastructure physique et numérique dont dépend leur fonctionnement est un autre domaine de premier plan où l'expertise des ingénieurs est extrêmement sollicitée. L'adoption généralisée des véhicules connectés et autonomes rendra indispensable la mise en place d'infrastructures routières efficaces et bien conçues.

Bien que les véhicules autonomes soient plus évolués que les voitures classiques qui circulent sur nos routes aujourd'hui, ils n'en sont pas moins, à la base, des véhicules. Par conséquent, la plupart des compétences en ingénierie qui ont toujours été de mise dans la conception et la fabrication des véhicules resteront pertinentes pour l'avenir de

l'industrie de l'automobile et de la mobilité. Les compétences **en génie électrique, industriel et mécanique ainsi qu'en ingénierie des systèmes**, seront toujours recherchées. Cependant, avec la complexité et la numérisation croissantes des véhicules et des systèmes automobiles, d'autres spécialisations de pointe retiendront l'attention, notamment celles qui suivent.

Fabrication et production

Dans le cadre d'une étude²⁵ menée par une équipe de chercheurs, nombre des experts interviewés ont dit s'attendre à une hausse de la demande visant les ingénieurs en fabrication et en production. Pour étayer leur propos, ils ont cité la sophistication croissante des véhicules et les composants supplémentaires entrant dans la production des véhicules autonomes, facteurs qui impliquent des effectifs de fabrication et de production plus importants.

Comme on l'a vu, dans l'univers de la mobilité, l'expertise en ingénierie a sa place non seulement dans le développement des véhicules, mais aussi dans la construction et la gestion des infrastructures. Le développement d'équipement servant à la construction, à l'amélioration et à la gestion de ces infrastructures est également susceptible de

²⁵ The American Center for Mobility. *Preparing the Workforce for Automated Vehicles*, 2018. Récupéré de :

<https://comartsci.msu.edu/sites/default/files/documents/MSU-TTI-Preparing-Workforce-for-AVs-and-Truck-Platooning-Reports%20.pdf>

stimuler la demande en ingénieurs de fabrication et de production.

Logiciel

Les perspectives d'emploi des ingénieurs en logiciel se multiplieront à mesure que s'intensifient les efforts de développement des véhicules connectés et autonomes. Ces véhicules intelligents hébergent des systèmes logiciels qui continueront d'évoluer avec la technologie et de mettre à contribution l'expertise en génie logiciel.

Par rapport au savoir-faire d'usage en génie logiciel, le niveau de talent nécessaire pour développer des systèmes destinés aux véhicules autonomes est beaucoup plus relevé. Cette différence s'explique par le fait que ces véhicules recourent à de nombreux systèmes logiciels dont le type et les spécifications varient et dont l'interaction doit être fluide, précise et fiable. Les contraintes liées à la vitesse et à la complexité doivent également être soigneusement prises en compte en temps réel. Qui plus est, il faut considérer les diverses sources d'erreurs logicielles des véhicules autonomes (capteurs, processeurs, réseaux, etc.) au moment de la conception, des essais et de l'intégration des systèmes logiciels dans ces véhicules, afin

d'éviter les pannes et le désengagement de la conduite autonome (c.-à-d. la reprise du volant par le conducteur humain).

Robotique

Les véhicules autonomes sont considérés comme des robots mobiles programmés pour accomplir certaines tâches dans des situations réelles. En conséquence, les talents en ingénierie robotique sont utiles dans le développement de ces véhicules. Les ingénieurs en robotique travaillent aux systèmes tant matériels que logiciels et doivent posséder une panoplie de compétences en génie électrique, systémique, mécanique et logiciel ainsi qu'une excellente compréhension de la cinématique²⁶ et de la dynamique du mouvement^{27,28}. Les contraintes des VA liées à la vitesse, au temps réel et à la sécurité font en sorte que des talents supérieurs en ingénierie robotique sont nécessaires, comparativement à ceux qu'exige la robotique appliquée à une situation ou à un environnement restreints.

La conception de modèles de **génération de mouvement** fait partie des compétences primordiales attendues d'un ingénieur en robotique. L'élaboration d'un tel modèle suppose de bien connaître la cartographie, la

²⁶ La cinématique décrit le mouvement de points, d'objets et de systèmes indépendamment des forces qui agissent sur leur mouvement. Un modèle cinématique utilise la géométrie du système et les conditions initiales de ses éléments connus pour définir la position ou l'accélération de ses éléments inconnus.

²⁷ La dynamique est une branche de la mécanique qui étudie les forces et leurs effets sur le mouvement.

²⁸ F.C. Park et K.M. Lynch. *Introduction to Robotics: Mechanics, Planning, and Control*, 2016. Récupéré de : <http://hades.mech.northwestern.edu/images/2/2a/Park-lynch.pdf>



localisation, l'estimation d'état²⁹ et la planification de parcours, afin de pouvoir utiliser les résultats découlant de ces modules. Le modèle de génération de mouvement est essentiel pour produire des commandes de vitesse et de virage en temps réel et les transmettre aux dispositifs de contrôle afin de diriger le véhicule de façon sécuritaire et en respectant le Code de la route.

Traitement des signaux

Le traitement des signaux est une branche du génie électrique qui cherche à comprendre les signaux électriques et à les transformer en flux de données numériques. On s'en sert couramment pour atténuer le bruit et la distorsion des signaux. Étant donné que les véhicules autonomes dépendent largement de l'utilisation de capteurs qui produisent des signaux de mesures à haute fréquence, la maîtrise du traitement des signaux est d'une importance capitale pour les ingénieurs qui travaillent au développement de ces véhicules. Des algorithmes évolués demandent à être mis au point pour un traitement en temps réel fiable et rigoureux des signaux provenant des capteurs embarqués. Une fois traités, les signaux sont transmis aux systèmes intégrés où ils déclenchent les manœuvres et actions correspondantes.

Télécommunications

Les communications intra-véhicule sont un aspect crucial des véhicules actuels et futurs. Les systèmes intégrés utilisent des réseaux de communication filaires pour échanger des données et des commandes internes qui permettent de contrôler le fonctionnement du véhicule. Compte tenu de la complexité accrue qui caractérise les exigences de connectivité des véhicules de l'avenir, il y aura un besoin vital de talents de haut calibre spécialisés en génie des télécommunications.

L'intérêt de posséder des compétences maîtrisées en ce domaine ne se limite pas au développement de réseaux de communication intra-véhicule. Les véhicules connectés sont en passe de transformer la mobilité et vont occuper une place importante dans l'avenir de ce secteur. Pour travailler sur les éléments de connectivité externe de ces véhicules, il faut une compréhension et des connaissances solides au sujet des technologies et des normes de communication inter-véhicules, notamment les communications spécialisées à courte portée (DSRC) et les véhicules connectés à tout (C-V2X).

Génie de la sécurité

Depuis la tenue des premiers travaux sur les VA dans le secteur automobile, le génie de la

²⁹ L'estimation d'état désigne généralement l'estimation de l'état d'un véhicule en tenant compte de la position, de la vitesse linéaire, de l'orientation et de la vitesse angulaire.



sécurité est devenu un domaine à forte demande. La plupart des FEO et des entreprises technologiques qui s'intéressent à ces véhicules ont activement recruté des ingénieurs en sécurité. L'essor et l'expansion des développements touchant aux VA ont de fortes chances d'accentuer la demande en talents de ce type.

Dans le cas des véhicules non autonomes, on présume que la sécurité est assurée lorsque le véhicule obéit aux commandes de contrôle des conducteurs humains. Cette supposition ne s'applique pas dans le cas des véhicules autonomes. Les mesures d'ingénierie axées sur la sécurité des VA doivent tenir compte des systèmes de prise de décision et valider leur perception de l'environnement³⁰. Cette exigence complique le processus et requiert des compétences pointues en sécurité fonctionnelle, notamment la capacité de cerner et d'analyser les dangers et les modes de défaillance, de préparer des mesures de sécurité, et de définir les exigences, les scénarios et les processus relatifs à la sécurité fonctionnelle.

Entretien et réparation

Bien que l'adoption des véhicules autonomes soit susceptible de réduire les réparations imputables aux collisions routières, la complexité associée au développement et au fonctionnement de ces véhicules laisse prévoir une hausse de la demande en **mécaniciens** et en **techniciens** spécialisés dans l'entretien et à la réparation automobiles. D'après une analyse du Boston Consulting Group³¹, les sociétés automobiles des États-Unis auront besoin de quelque 10 000 mécaniciens supplémentaires d'ici 2028. Cet effectif devra suffisamment bien connaître les technologies des VA pour calibrer des capteurs, réparer et tester les équipements ainsi qu'effectuer les tâches d'entretien connexes. En raison de leurs systèmes intégrés de connectivité à distance, il est à prévoir que les véhicules connectés et autonomes vont stimuler la demande de techniciens capables d'effectuer des diagnostics et de l'entretien à distance.

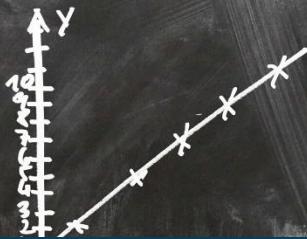
³⁰ R. Adler, P. Feth, D. Schneider. « Safety Engineering for Autonomous Vehicles », 2016. Récupéré de : <https://ieeexplore.ieee.org/document/7575374>

³¹ Boston Consulting Group. « The US Mobility Industry's Great Talent Hunt », 2019. Récupéré de : <https://tinyurl.com/wyqywuk>

$$X_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$



$$X^2 + px + q = 0$$



$$x = 6 - 2y$$

$$\begin{aligned} x + a &= b \\ f(x) &= \tan x \end{aligned}$$

$$X_{1/2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$$

$$f(x) = \sin x$$

COMPÉTENCES MATHÉMATIQUES

Les compétences mathématiques forment le noyau de la plupart des compétences technologiques examinées jusqu'à présent. Elles sont habituellement une condition préalable à la maîtrise de ces dernières et une nécessité pour occuper un emploi dans la filière des véhicules autonomes. Dans les paragraphes qui suivent, il sera question des compétences mathématiques les plus importantes pour l'industrie de l'automobile et de la mobilité de demain.

Algèbre linéaire

L'algèbre linéaire se classe en tête des compétences mathématiques fondamentales que les personnes intéressées à l'industrie doivent apprendre à fond. Une bonne connaissance des vecteurs, des matrices, et des opérations qui s'y rattachent, est de rigueur pour comprendre et développer des algorithmes d'apprentissage machine³². Même si les spécialistes de l'AM peuvent créer leurs modèles en s'aidant de bibliothèques, plutôt que de toutes pièces, ils doivent intimement comprendre leur fonctionnement pour pouvoir les compléter et les optimiser. La maîtrise de l'algèbre linéaire influe également sur l'efficacité avec laquelle les compétences en informatique et en génie sont appliquées. De plus, elle est indispensable aux compétences

³² Ng Ritchie. « Linear Algebra for Machine Learning ». Récupéré de : <https://www.ritchieng.com/linear-algebra-machine-learning/>

en traitement des images, puisque les images et les opérations dont elles font l'objet sont généralement traitées sous la forme de vecteurs et de matrices.

Calcul

Une bonne connaissance des équations différentielles, des dérivées, des intégrales et des gradients est essentielle pour tirer parti de quantité d'algorithmes d'AM répandus et des techniques touchant à la science des données³³. Par ailleurs, la maîtrise du calcul facilite la compréhension des méthodes d'optimisation. Il s'agit d'un atout majeur pour la conception de solutions rapides et efficaces.

Probabilité et statistique

Les concepts et méthodes statistiques font partie des outils incontournables pour tout emploi relié à l'apprentissage machine ou à la science des données. Ils permettent de déduire des observations à partir des données en main et de caractériser le degré de certitude des prédictions²⁵. Cet aspect revêt une vive importance lors de l'analyse de données sur la mobilité et de la prise de décision.

À cause de l'incertitude qui entoure les comportements des véhicules et leur environnement, le recours à la probabilité est

le seul moyen pour les systèmes automatisés d'arriver à des décisions. À l'aide des données recueillies et des algorithmes de raisonnement, les VA calculent la probabilité des scénarios rencontrés et prennent des décisions en conséquence³⁴.

Méthodes d'optimisation

Une compréhension fouillée des optimiseurs et des méthodes d'optimisation est un critère d'embauche capital pour les emplois liés au développement d'algorithmes et de modèles dans le secteur de l'automobile et de la mobilité. L'optimisation de la performance des solutions mises au point est un objectif premier, surtout pour les opérations des véhicules autonomes qui exigent une précision et une prise de décision optimales.

Géométrie

Une bonne connaissance de la géométrie est considérée comme un atout dans le domaine de la mobilité autonome. Elle permet d'améliorer les techniques de vision par ordinateur, de concevoir de meilleurs modèles de génération et de commande de mouvement, et de mettre au point des algorithmes de localisation plus exacts.

³³ F. Malik. « Calculus — Multivariate Calculus and Machine Learning ». Récupéré de : <https://medium.com/fintechexplained/calculus-multivariate-calculus-and-machine-learning-242b9efcb41c>

³⁴ T. Davey. « How Self-Driving Cars Use Probability », 2017. Récupéré de : <https://futureoflife.org/2017/03/13/self-driving-cars-probability/>



COMPÉTENCES GÉNÉRALES

Outre les compétences spécialisées dont il a été question précédemment, une série de compétences générales communes sont réputées essentielles dans la plupart des industries, y compris celle de l'automobile et de la mobilité.

Compétences en recherche

Pour trouver réponse aux problèmes qui surgissent et proposer des solutions novatrices, les compétences en recherche sont absolument nécessaires, surtout dans les industries technologiques. En ce qui concerne

le secteur de l'automobile et de la mobilité, la **recherche scientifique** représente une facette importante du développement technologique. La plupart des établissements d'enseignement postsecondaire ainsi que les entreprises du domaine s'appliquent à monter des équipes de recherche et des laboratoires pour répondre aux questions de recherche, déterminer les problèmes, et avancer des solutions et des méthodes inédites. Dans le contexte des véhicules connectés et autonomes, les compétences en recherche scientifique ont été largement mises à contribution pour relever des défis pressants touchant à la perception des véhicules et à la localisation, par exemple, et pour améliorer la performance des algorithmes et des techniques utilisés dans tous les domaines technologiques.



Compétences stratégiques et politiques

La **réflexion stratégique** ainsi que la capacité de **formuler et mettre en œuvre des stratégies** sont des atouts indéniables pour toute organisation qui souhaite se démarquer, prendre une longueur d'avance et prospérer dans un marché où la concurrence est vive. Ce constat vaut tout particulièrement pour les entreprises de l'automobile et de la mobilité, confrontées à la tâche de devoir réinventer leurs modèles d'affaires dans une industrie qui évolue rapidement. La souplesse stratégique est également pertinente pour les gouvernements soucieux d'affirmer leur leadership dans le développement et le déploiement des technologies de ce secteur.

L'évolution des VCA et leur déploiement sont largement tributaires des politiques et des règlements gouvernementaux. Pour jouer un rôle de chef de file dans cet espace en mutation, il faut disposer de solides capacités au chapitre de l'**élaboration des politiques et des conseils en matière de politiques**. Les décideurs et les conseillers trouveront également utile d'avoir une bonne compréhension des grands enjeux et impacts associés à la mobilité de l'avenir — par exemple la sûreté, la cybersécurité, la protection de la vie privée et les débouchés

économiques. Ils seront ainsi en mesure de fonder leurs décisions stratégiques sur des analyses rigoureuses, en phase avec les besoins du marché et des consommateurs.

Savoir-être

La réussite professionnelle, tous secteurs confondus, exige des compétences non techniques bien rodées. Dans leur description des exigences relatives à l'emploi, les entreprises du monde entier insistent sur ces compétences générales, car elles ont d'importantes répercussions positives sur les réalisations et le rendement des employés. Aux compétences générales les plus couramment recherchées que sont les **aptitudes à communiquer, à résoudre des problèmes et à faire preuve de leadership**, s'ajoute, dans le secteur de l'automobile et de la mobilité, la **pensée créatrice et visionnaire**, précieuse pour formuler des solutions nouvelles dans une industrie marquée par de rapides progrès. En raison de la cadence soutenue de cette évolution et du caractère dynamique des développements technologiques, les entreprises privilégient également les candidats qui ont **envie d'apprendre** et qui sont prêts à **s'adapter** rapidement aux nouvelles technologies³⁵.

³⁵ FISITA. *Mobility Engineer 2030*, 2018. Récupéré de :

https://www.fisita.com/documents/FISITA_White_Paper_Mobility_Engineer_2030.pdf

DÉFIS



Les organisations qui cherchent à recruter et à retenir des talents à l'ère de la mobilité font face à des défis importants, qui entraînent des lacunes notables dans leur effectif. Les pages qui suivent s'attardent à ces difficultés dans la perspective des principaux acteurs de l'écosystème chargés d'y remédier.

1. Déficit de compétences numériques

Les pays du monde entier sont aux prises avec une pénurie de savoir-faire numérique. D'après une enquête réalisée en 2018 par PwC auprès de chefs de direction canadiens, 72 pour cent des répondants ont dit s'inquiéter du manque de compétences numériques dans leur industrie³⁶. Lors d'un sondage mené auprès de plus de 1 400 entreprises au Royaume-Uni, la Chambre de commerce britannique a découvert que trois sociétés sur quatre manquaient de personnel qualifié dans le numérique³⁷. Pour les secteurs numériques d'avenir comme celui de l'automobile et de la mobilité, cette pénurie freine l'acquisition des talents nécessaires pour soutenir et alimenter les progrès de l'industrie.

Le fond du problème tient au déséquilibre entre l'offre et la demande. La plupart des industries ont amorcé le virage du numérique. Ce phénomène a eu pour effet d'augmenter sensiblement la demande en compétences techniques dans presque toutes les industries. En ce qui concerne l'automobile et la mobilité, l'écosystème connaît une forte expansion avec l'arrivée sur le terrain d'une foule de jeunes entreprises. Maintes sociétés bien implantées dans le secteur élargissent également leurs activités pour rester dans la course à la mobilité du futur et assurer leur viabilité. Ce formidable essor de l'industrie a accentué la demande visant les talents techniques, et tout porte à croire que la tendance se poursuivra avec l'évolution des technologies. La demande augmente donc à un rythme beaucoup plus rapide que l'offre des compétences techniques voulues. Dans une étude récente sur l'industrie de la mobilité aux États-Unis, le Boston Consulting Group³¹ anticipe la création de quelque 30 000 postes informatiques chez les constructeurs d'automobiles d'ici dix ans, soit six fois plus que le nombre de diplômés dans les domaines pertinents.

Le déficit de compétences numériques peut également être mis sur le compte de **l'évolution rapide de la technologie et des besoins toujours changeants du secteur privé.**

³⁶ PwC. (2018). *Que pensent les chefs de direction canadiens en 2018?*

Récupéré de :
<https://www.pwc.com/ca/ceo-survey/assets/pwc-ceo-survey-2018-canadian-insights-FR.pdf>

³⁷ The British Chambers of Commerce. « BCC: Shortage of digital skills hampering business productivity and growth », 2017. Récupéré de : <https://www.britishchambers.org.uk/news/2017/04/bcc-shortage-of-digital-skills-hampering-business-productivity-and-growth>



Certains établissements d'enseignement n'arrivent pas à suivre le rythme de ces changements, ce qui fait que leurs programmes d'études accusent un retard par rapport aux exigences des industries techniques. Par ailleurs, la haute dynamicité des technologies et des compétences techniques requises fait en sorte que certains talents ne s'actualisent pas pour tenir compte de ces changements. Il en résulte que leurs compétences techniques deviennent désuètes et sans intérêt pour l'industrie.

2. Concurrence pour les talents

Le deuxième défi lié à l'acquisition des talents tient au fait que **nombre des compétences recherchées dans le secteur de l'automobile et de la mobilité sont communes à celles d'autres industries technologiques**. Par conséquent, non seulement la concurrence pour les talents se fait-elle sentir au sein de l'écosystème de la mobilité, mais elle se joue également entre les industries. Par exemple, la programmation fait partie intégrante de plusieurs autres activités comme le développement d'applications bureautiques et mobiles, le développement Web, les jeux vidéo. L'intelligence artificielle gagne aussi en popularité dans la plupart des industries en raison de ses avantages pour diverses applications. Les responsables des politiques

et les stratégies ont aussi leur place dans chaque industrie. L'écart entre l'offre et la demande attise la concurrence entre les différents secteurs, ce qui crée un problème majeur pour les industries en quête de ces compétences.

3. Exigences interfonctionnelles

La main-d'œuvre du secteur des véhicules autonomes fait face à un défi particulier dans la mesure où les progrès de cette industrie exigent une expertise technologique polyvalente. Comme il en a été question dans la section précédente, **bon nombre des compétences demandées sont interrelées**. À la différence d'ingénieurs ou de techniciens travaillant dans d'autres domaines, la réussite d'un ingénieur spécialisé dans les voitures autonomes repose sur l'acquisition d'un arsenal de compétences multidisciplinaires, notamment en technique automobile, en ingénierie des systèmes, en robotique, en mathématiques, en apprentissage machine et en programmation. Le caractère multidisciplinaire et interfonctionnel des acquis constitue un critère de poids à l'embauche d'ingénieurs dans ce domaine. Les employeurs veulent s'assurer que les talents acquis ont une compréhension d'ensemble du système et sont conscients de l'impact d'une nouvelle solution sur d'autres parties du



système. Malheureusement, à l'heure actuelle, très peu de gens possèdent ces connaissances multidisciplinaires et ces compétences interfonctionnelles, et leur combinaison va au-delà de ce qui est enseigné dans les programmes d'études traditionnels, habituellement axés sur un domaine précis.

« Dans notre secteur, le talent prime. Nous avons besoin de solutionneurs qui possèdent un éventail de compétences en génie logiciel et en conception de systèmes³⁸. »

Grant Courville, v.-p. des produits et de la stratégie, BlackBerry QNX

³⁸ Invest in Ontario. « Ontario's BlackBerry QNX moves into high gear ». Récupéré de :

<https://www.investinontario.com/success-stories/ontarios-blackberry-qnx-moves-high-gear>

PISTES DE SOLUTION





L'objectif de remédier aux déficits de talents dans le secteur de la mobilité future devrait être envisagé comme une **mission de collaboration** à laquelle les entreprises intéressées, les établissements d'enseignement et les gouvernements gagneront à travailler continument. Des mesures rapides s'imposent, à défaut de quoi les lacunes iront s'accentuant et la main-d'œuvre en pâtira. En plus des initiatives visant à **attirer** et à **développer** les talents, il faut consacrer des efforts à leur **rétention** dans le secteur afin de tirer parti des investissements réalisés au titre de l'acquisition et du perfectionnement des compétences. Ces déficits de talents sont également **l'occasion** pour les organismes de formation et d'enseignement d'agir en proposant des programmes conçus sur mesure pour répondre aux besoins de main-d'œuvre et couvrir les compétences examinées plus tôt.

Entreprises

Les entreprises de l'automobile et de la mobilité devraient **s'impliquer dans le développement des talents dont elles ont besoin** en réclamant des programmes d'études et de formation axés sur ces besoins. Elles peuvent collaborer avec des établissements d'enseignement à la refonte ou à la conception de programmes adaptés, afin de mettre en place un pipeline de talents qui possèdent les compétences et les connaissances recherchées dans l'industrie.

Elles peuvent aussi aider ces établissements à attirer les meilleurs étudiants au moyen de bourses, de stages et d'autres formules de collaboration pratique entre le milieu de l'enseignement et l'industrie, ainsi qu'en parrainant des concours assortis de prix. Une autre piste de solution pour attirer des talents et pourvoir des postes, consiste à offrir aux étudiants qui obtiennent de bons résultats dans ces programmes, la garantie d'un emploi à temps plein dans une entreprise partenaire à la fin de leurs études. Les entreprises peuvent également envisager d'organiser et de commanditer des carrefours mettant en vitrine leurs possibilités de carrière, leurs mesures incitatives et des histoires de réussite.

Dans l'intervalle, il convient de mettre l'accent sur le **recyclage et la mise à niveau de la main-d'œuvre existante**, afin qu'elle acquière les compétences nécessaires à l'évolution de l'industrie. À cette fin, les employeurs peuvent offrir des possibilités de stages aux employés dont le goût d'apprendre et les capacités sont avérés. Ou encore, ils peuvent permettre à ces employés de travailler à temps partiel afin qu'ils aient le temps et la latitude de suivre des programmes d'études ou de formation externes³¹. La tenue de camps d'entraînement spécialisés est un autre moyen de donner aux employés une formation intensive et de nouvelles compétences, avec une interruption minimale des activités.

En guise d'exemple d'**initiative industrielle de formation des talents**, Audi propose à son personnel des programmes d'éducation offerts en partenariat avec l'Université technique d'Ingolstadt. D'après Audi, grâce à ces programmes, elle a plus que doublé ses effectifs travaillant sur des moteurs électriques en 2018, par rapport à l'année précédente³⁹. Autre exemple, la société Infosys a formé un partenariat avec la plateforme d'apprentissage en ligne Udacity, pour offrir à ses employés un programme de recyclage et de formation sur l'ingénierie des voitures autonomes. Le programme, appelé Udacity Connect, se compose d'une formation avancée de vingt semaines menée en personne et en ligne et d'un stage de six semaines durant lequel les participants au programme élaborent des solutions pour les clients d'Infosys⁴⁰.

Établissements d'enseignement

Ainsi qu'on l'a vu, il importe que les **établissements d'enseignement** collaborent étroitement avec les entreprises de l'automobile et de la mobilité afin de saisir leurs besoins en compétences et d'en tenir

compte dans les nouveaux programmes ou les programmes existants. Cette collaboration doit relever d'un effort constant visant à garantir que les programmes restent à jour et continuent de répondre aux exigences de l'industrie au fil de l'évolution des technologies.

Conscients de la nécessité d'adapter leurs curriculums aux progrès technologiques, certains établissements d'enseignement ont commencé à offrir des programmes et des cours axés sur les technologies de la mobilité de l'avenir. Ainsi, l'Université Cranfield propose désormais un programme de maîtrise en génie des véhicules connectés et autonomes⁴¹, conçu pour répondre aux besoins particuliers de la main-d'œuvre dans ce secteur. L'Université de Virginie donne un cours intitulé « Autonomous Racing », dans lequel les étudiants travaillent en équipe à la construction de voitures de course autonomes, tout en étudiant les principes de la perception, de la planification et de la commande appliqués aux VA. Autre exemple, la Jacobs School of Engineering de l'Université de Californie San Diego, offre un cours sur les véhicules autonomes aux étudiants de premier cycle et des cycles supérieurs⁴². Ce cours, qui

³⁹ Audi AG. « Skilled for the future », 2018. Récupéré de : <https://www.audi.com/en/experience-audi/mobility-and-trends/working-world/skilled-for-the-future.html>

⁴⁰ Infosys. « Driving into the future: Infosys and Udacity partner to invest in autonomous vehicle education », 2017. Récupéré de : <https://www.infosys.com/insights/ai-automation/Pages/driving-into-the-future.aspx>

⁴¹ Université Cranfield. « Connected and Autonomous Vehicle Engineering (Automotive) MSc », 2019. Récupéré de : <https://www.cranfield.ac.uk/courses/taught/connected-and-autonomous-vehicle-engineering-automotive>

⁴² UC San Diego. « Undergraduate engineers get hands-on experience with autonomous vehicles », 2018. Récupéré de : <https://ucsdnews.ucsd.edu/feature/undergraduate-engineers-get-hands-on-experience-with-autonomous-vehicles>

met l'accent sur l'apprentissage pratique, comprend la construction d'une petite voiture robotique entraînée à fonctionner de façon autonome. En mai 2019, le Michigan Mobility Institute a également annoncé un partenariat avec l'école d'ingénieurs de l'Université d'État de Wayne en vue de concevoir un cursus pédagogique axé sur la mobilité de pointe⁴³.

À noter que les initiatives de formation visant à corriger les déficits de compétences ne devraient pas se limiter aux établissements postsecondaires, mais s'étendre également aux **écoles primaires et secondaires**. Comme il en a été question dans la section consacrée aux compétences, les mathématiques font partie des compétences de base dont dépendent l'acquisition et l'amélioration d'autres savoir-faire technologiques. Or, l'acquisition d'habiletés mathématiques peut débuter dès les niveaux primaire et secondaire, et se poursuivre dans des cours plus avancés de niveau postsecondaire. D'ailleurs, les camps de robotique pour enfants et adolescents ont récemment gagné en popularité et s'avèrent très utiles pour donner aux jeunes apprenants une première expérience pratique de la programmation, de l'électronique et de la mécanique.

Les établissements d'enseignement traditionnels ne sont plus les seuls vecteurs d'éducation et de formation. Les **plateformes d'apprentissage en ligne** telles que Udacity, Coursera, edX et Udemy suscitent un intérêt croissant chez les apprenants en raison de leurs formules d'apprentissage souples et abordables et de la qualité supérieure de leurs cours. Les titres décernés par ces plateformes — en règle générale des certificats plutôt que des diplômes — sont reconnus et bien accueillis par les employeurs, qui y voient un moyen rapide et peu coûteux d'obtenir des compétences. Udacity a compté parmi les premiers fournisseurs de services de formation à saisir l'importance des programmes et des compétences spécialisés pour la main-d'œuvre de la mobilité de demain. C'est ce qui a poussé l'entreprise à offrir un **nanodiplôme en génie des voitures autonomes**⁴⁴, qui fait actuellement partie des ressources de choix pour acquérir les compétences interfonctionnelles recherchées par les entreprises technologiques du domaine. Afin que son contenu corresponde aux besoins du secteur de l'automobile et de la mobilité, ce nanodiplôme a été conçu en partenariat avec de grands acteurs du domaine, dont Mercedes-Benz, BMW et Uber.

⁴³ Université d'État de Wayne. « Wayne State University, Michigan Mobility Institute announce development of advanced mobility curriculum », 2019. Récupéré de : <https://today.wayne.edu/news/2019/05/21/wayne-state-university-michigan-mobility-institute-announce-development-of-advanced-mobility-curriculum-32124>

⁴⁴ Udacity. « Self-Driving Car Engineer Nanodegree », 2019. Récupéré de : <https://www.udacity.com/course/self-driving-car-engineer-nanodegree--nd013>



ATG. Dans la même veine, en partenariat avec l’Université de Toronto, l’entreprise Coursera propose une **spécialisation Voitures autonomes⁴⁵** qui couvre des sujets importants comme l’estimation d’état, la localisation, la perception visuelle et la génération de mouvement. EdX, en collaboration avec la Chalmers University of Technology, offre pour sa part un **programme de micromâtrise en technologies automobiles émergentes⁴⁶**. Les apprenants qui obtiennent le certificat de micromâtrise ont la possibilité de faire une demande d’admission à la maîtrise ès sciences en ingénierie automobile ou en systèmes, contrôle et mécatronique. Une fois admis, les étudiants obtiennent des crédits pour leur micromâtrise en vue de leur programme de maîtrise.

Gouvernements

Les gouvernements jouent un rôle décisif au chapitre du développement des talents. Par leurs **initiatives d’éducation et de sensibilisation**, ils peuvent attirer l’attention des citoyens sur les besoins de main-d’œuvre et promouvoir les perspectives d’avenir des industries en plein essor, comme celle de la mobilité.

Les gouvernements peuvent piloter des initiatives axées sur les besoins de l’industrie en matière de compétences et de talents en **prenant contact avec les entreprises** de la région et en analysant leurs besoins. Une fois ces besoins cernés, les gouvernements ont plusieurs méthodes à leur disposition pour aider les entreprises. Ils peuvent **mettre en place des subventions et des mesures incitatives** visant le recyclage et la mise à niveau; ou encore, faciliter la collaboration des entreprises à des programmes communs de développement des talents. En guise d’exemple, citons le programme du Maryland « Employment Advancement Right Now » (EARN)⁴⁷. Il s’agit d’un programme de subvention au perfectionnement de la main-d’œuvre dirigé par l’industrie et qui investit dans des partenariats industriels stratégiques afin de répondre aux besoins en main-d’œuvre des entreprises. Lorsqu’un partenariat est formé, les parties élaborent conjointement des plans de formation, d’éducation et d’aide à l’emploi destinés aux travailleurs, à l’aide de subventions du ministère du Travail du Maryland.

Une autre approche pratiquée par les gouvernements consiste à encourager les entreprises, au moyen d’aides financières et

⁴⁵ Université de Toronto. « Self-Driving Cars Specialization », 2019.

Récupéré de :

<https://www.coursera.org/specializations/self-driving-cars>

⁴⁶ edX. « MicroMasters Program in Emerging Automotive Technologies », 2019. Récupéré de :

<https://www.edx.org/micromasters/chalmersx-emerging-automotive-technologies>

⁴⁷ Ministère du Travail du Maryland. « EARN Maryland: Industry-Led Partnerships ». Récupéré de :

<https://www.dllr.state.md.us/earn/>



d'incitatifs, à offrir des programmes de stages pratiques, de bourses et d'apprentissage aux talents prometteurs. Ainsi, la Caroline du Sud a mis sur pied un programme qui accorde plusieurs avantages — crédit d'impôt, services de consultants et accès aux collèges techniques de l'État — aux employeurs qui parrainent des apprentis⁴⁸. Autre exemple, le programme de développement des talents offert par le gouvernement de l'Ontario par l'entremise du Réseau d'innovation pour les véhicules automatisés⁴⁹. Ce programme finance activement des stages et des bourses au sein d'entreprises ontariennes pour amener les étudiants et les nouveaux diplômés de la province à acquérir une formation pratique et de l'expertise dans le secteur des VCA.

Les gouvernements peuvent également **apporter un soutien financier direct aux apprenants et aux professionnels** qui souhaitent une formation d'appoint ou une mise à niveau, de sorte qu'ils aient accès à des programmes d'apprentissage en ligne ou en personne. Par exemple, l'initiative d'apprentissage « Next Technology Leaders (NTL) »⁵⁰, conçue par le gouvernement égyptien, vise à développer les talents dans les plus récentes technologies touchant à

l'électronique, l'intelligence artificielle, les télécommunications et l'information. Placée sous la direction du ministère des Technologies de l'Information et des Communications, l'initiative NTL permet aux apprenants admissibles d'accéder gratuitement aux meilleurs programmes d'apprentissage des plateformes Udacity, Coursera et edX.

Les gouvernements peuvent aussi **servir de pont entre les entreprises et les établissements d'enseignement** afin de recenser les déficits de talents et de collaborer à la mise au point de programmes d'études qui combinent ces carences. Une autre option consiste à encourager davantage le développement des talents au sein des universités et des collèges, au moyen de **subventions à la recherche-développement (R-D)** permettant de recruter et de former des étudiants dans le cadre de projets de R-D axés sur les besoins de l'industrie. Enfin, en guise de soutien à l'acquisition et à la conservation des talents, les **gouvernements peuvent offrir ou faciliter des programmes d'immigration** destinés aux travailleurs qui possèdent les compétences demandées.

⁴⁸ SC Technical College System. « Apprenticeship Carolina ». Récupéré de : <https://www.apprenticeshipcarolina.com/>

⁴⁹ Réseau d'innovation pour les véhicules automatisés. « Développement des talents ». Récupéré de :

<https://www.avinhub.ca/fr/developpement-des-talents/>

⁵⁰ Technology Innovation and Entrepreneurship Center. « Be the Next Technology Leader », 2016. Récupéré de : <http://techleaders.eg/>



CONTRIBUTIONS DE L'ONTARIO

UNIVERSITÉ DE TORONTO

Établissement de calibre mondial, l'Université de Toronto compte des professeurs et des chercheurs émérites qui travaillent à l'avancement des technologies des VCA et à la formation des talents dans ce domaine en offrant des cours spécialisés et une expérience pratique aux étudiants de premier cycle et de cycle supérieur. Outre les programmes enseignés sur le campus, les professeurs de la **faculté des sciences appliquées et du génie** ont créé, avec Coursera, l'un des premiers cours de spécialisation en ligne sur les voitures autonomes. Par ailleurs, Mme Raquel Urtasun, de la **faculté d'informatique**, joue un rôle actif dans la formation et l'encadrement des talents de la mobilité de l'avenir en sa qualité de scientifique en chef et directrice d'Uber ATG Toronto.

INSTITUT VECTEUR

Établi à Toronto, l'Institut Vecteur est une initiative conjointe du gouvernement du Canada et du gouvernement de l'Ontario visant à exercer un leadership mondial dans le domaine de l'intelligence artificielle. Les partenaires et les chercheurs de l'Institut comptent sur un bassin de talents canadiens mondialement reconnus. Entre autres activités, l'Institut soutient les étudiants qui souhaitent faire des études en IA en leur permettant de **travailler avec des membres de son personnel enseignant**. L'Institut a également entrepris de monter **ses propres programmes d'études**.

UNIVERSITÉ DE WATERLOO

Le **Centre de recherche automobile** de l'Université de Waterloo contribue activement à l'élaboration de programmes d'enseignement sur les systèmes de transport et les systèmes automobiles, y compris les véhicules connectés et autonomes. L'expertise de l'**Institut de recherche en intelligence artificielle** de l'Université de Waterloo vient parachever ces compétences et ce savoir-faire en matière de conduite autonome.

RÉSEAU D'INNOVATION POUR LES VÉHICULES AUTOMATISÉS

Le Réseau d'innovation pour les véhicules automatisés (RIVA) est une initiative du gouvernement de l'Ontario ayant pour but de soutenir et de piloter le développement et le déploiement des technologies des VCA en Ontario. Dans le cadre des programmes du RIVA, le volet **Développement des talents** finance des bourses et des stages grâce auxquels les étudiants et les récents diplômés de l'Ontario acquièrent une formation pratique axée sur les VCA. Par ailleurs, le RIVA s'emploie à dresser une **feuille de route, à court et à long terme, pour les activités de formation des talents dans le secteur de l'automobile et de la mobilité**, de concert avec les entreprises et les établissements d'enseignement de la province. En recensant les besoins en compétences, les déficits de talents et les solutions préliminaires, ce rapport franchit un premier jalon en vue de l'établissement de cette feuille de route.



CONCLUSIONS

Nous avons passé en revue dans ce rapport les diverses compétences que doit posséder la main-d'œuvre de la mobilité de demain. Notre objectif était de donner un aperçu des pistes et des solutions offertes aux organisations souhaitant développer les talents de la mobilité ainsi qu'aux personnes intéressées à faire carrière dans cette industrie d'avenir. Il a d'abord été question des compétences technologiques qui forment le noyau du savoir-faire dans le secteur de l'automobile et de la mobilité. Nous avons ensuite traité des habiletés mathématiques dont dépend l'acquisition de ces compétences technologiques. Enfin, nous avons décrit plusieurs compétences générales qui sont essentielles dans la plupart des industries, dont celle de l'automobile et de la mobilité.

Reconnaissant les déficits de talents importants qu'accuse la main-d'œuvre du secteur de la mobilité, nous avons mis en évidence les principaux défis rencontrés et les causes à l'origine de ces lacunes. Nous croyons fermement qu'à moins de s'attaquer rapidement à ces défis, il en résultera de

grave conséquences pour la main-d'œuvre, et que les pénuries s'accentueront davantage encore avec l'évolution des technologies de l'automobile et de la mobilité.

Préoccupés par la nécessité immédiate de faire face aux défis en matière de talents, nous avons conclu la discussion par une série de solutions et de recommandations en ce sens. Les pistes de solution présentées rendent compte, d'une part, des divers efforts, initiatives et pratiques exemplaires en cours, et d'autre part, des mesures que pourraient adopter les entreprises de l'automobile et de la mobilité, les fournisseurs de services d'éducation et de formation, et les gouvernements. Quoique chacun de ces acteurs puisse jouer un rôle important pour pallier les déficits de talents, nous sommes persuadés que les solutions optimales sont celles qui font appel à la collaboration de toutes les parties.

Les solutions et les suggestions évoquées dans ces pages, sans constituer une réponse absolue, peuvent être envisagées comme un point de départ à des efforts concertés qu'il faut mettre en branle le plus tôt possible. À plus long terme, l'évolution de l'industrie et l'émergence de nouvelles perspectives donneront certainement lieu à d'autres recommandations et à des orientations plus claires.

Il est également entendu que la mise en place de solutions en matière de développement des compétences liées au VCA (par exemple, des programmes d'enseignement et des formations) exige du temps et des ressources considérables. Cependant, les avantages et les gains associés au développement et à l'adoption des technologies de la mobilité en valent la peine. Les études confirment que l'intérêt et la demande sont là, et que les entreprises du secteur font face à un manque criant de compétences et d'expertise. Il faut maintenant des solutions qui leur apportent ce vivier de talents. Dans l'optique des travailleurs, l'acquisition de ces nouvelles compétences peut sembler un engagement important, et qui demande du temps; toutefois, les débouchés offerts ainsi que les connaissances et les compétences acquises en travaillant à ces technologies révolutionnaires sont sans prix. Ces nouvelles filières se révèlent par ailleurs lucratives et proposent des salaires encourageants.

L'Ontario fait figure de meneur en ce qui concerne la formation et le perfectionnement des talents nécessaires aux percées de la mobilité de l'avenir. Il compte sur des établissements d'enseignement de renommée

mondiale, qui prennent déjà de vigoureuses initiatives en faveur du développement des talents. L'Ontario bénéficie également du solide soutien des grandes entreprises de l'automobile et de la mobilité, qui produisent et acquièrent des talents exceptionnels partout dans le monde. Le gouvernement de l'Ontario considère l'essor des talents dans ce secteur comme l'une des principales priorités et possibilités de croissance de la province. En témoigne la place centrale qu'il accorde au développement des talents à titre de domaine d'action immédiate dans les plans et les initiatives de *Piloter la prospérité : L'avenir du secteur de l'automobile de l'Ontario*⁵¹. Afin de soutenir la stratégie provinciale de perfectionnement de la main-d'œuvre, le ministère du Travail, de la Formation et du Développement des compétences a lancé des appels de propositions dans le cadre du projet pilote Développement rapide des compétences⁵² et du Fonds catalyseur pour les compétences⁵³, afin de développer les compétences de la main-d'œuvre et d'élaborer des solutions axées sur la demande, en réponse aux défis du marché du travail.

⁵¹ Ministère du Développement économique, de la Création d'emploi et du Commerce. *Piloter la prospérité : L'avenir du secteur de l'automobile de l'Ontario, 2019*. Récupéré de : <https://files.ontario.ca/auto-strategy-fr-final.pdf>

⁵² Ministère du Travail, de la Formation et du Développement des compétences de l'Ontario. « Développement rapide des compétences 2019-2020 », 2020. Récupéré de : <https://www.grants.gov.on.ca/GrantsPortal/fr/OntarioGrants/GrantOpportunities/PRDR017890>

<https://www.grants.gov.on.ca/GrantsPortal/en/OntarioGrants/GrantOpportunities/PRDR020024>

⁵³ Ministère du Travail, de la Formation et du Développement des compétences de l'Ontario. « Fonds catalyseur pour les compétences 2019-2020 », 2020. Récupéré de : <https://www.grants.gov.on.ca/GrantsPortal/fr/OntarioGrants/GrantOpportunities/PRDR017890>



GLOSSAIRE DES TERMES TECHNIQUES

Apprentissage machine

Sous-domaine de l'intelligence artificielle qui s'intéresse au développement de systèmes capables d'apprendre à partir de données et de prendre des décisions à l'aide d'une intervention humaine minimale.

Apprentissage profond

Sous-catégorie de l'intelligence artificielle qui utilise de multiples couches pour l'extraction des caractéristiques des données d'entrée et la production de données de sortie.

Cinématique

Décrit le mouvement de points, d'objets et de systèmes indépendamment des forces qui agissent sur leur mouvement.

Dynamique d'action

Branche de la mécanique qui a pour objet d'étude les forces et leurs effets sur le mouvement.

Estimation d'état

Estimation de l'état d'un véhicule reposant sur la position, la vitesse linéaire, l'orientation et la vitesse angulaire.

Étalonnage d'une caméra

Estimation des paramètres d'un objectif et d'un capteur d'images, qui peut servir à corriger la distorsion optique ou à mesurer la taille d'un objet.

Filtre de Kalman

Algorithme qui prédit l'état d'un système à partir d'estimations antérieures.

Filtre particulaire

Algorithme utilisé pour estimer les états de systèmes dynamiques lorsque des observations partielles ont eu lieu et qu'une incertitude est présente dans les systèmes.

Fusion des données des capteurs

Procédé consistant à combiner les données sensorielles provenant de multiples capteurs.

Informatique en nuage

Aussi appelé infonuagique. Disponibilité de ressources informatiques sur Internet, accessibles à la demande par des utilisateurs distants.

Informatique en périphérie

Rapprochement des ressources informatiques éloignées de l'emplacement où elles sont nécessaires, en vue d'obtenir des temps de réponse plus rapides et d'économiser de la bande passante.

Intelligence artificielle

Branche de l'informatique qui s'intéresse à l'imitation des processus cognitifs humains par des machines.

LIDAR

Abréviation de « Light Detection and Ranging » (détection et télémétrie par ondes lumineuses). Technologie de détection qui recourt au laser pour identifier des objets et mesurer la distance à laquelle ils se trouvent.

Réseau de neurones artificiels

Unités de calcul qui modélisent de façon approximative les neurones d'un cerveau biologique.

Système intégré

Système à microcontrôleur ou à microprocesseur conçu pour effectuer une tâche précise et qui dispose généralement de ressources informatiques limitées.

Unités de mesure inertielle

Dispositif capable de mesurer la force, la vitesse angulaire et l'orientation d'un objet.

Vision par ordinateur

Sous-domaine de l'informatique qui a pour but d'amener les machines à voir et à traiter les images à la manière des humains.



L'ÉQUIPE DU RIVA



Raed Kadri

Directeur, Technologie automobile et innovation de la mobilité
(416) 861 1092, poste 9-7400
raed.kadri@oce-ontario.org



Sherin Abdelhamid

Conseiller Technique, Automobile et Mobilité
(416) 861 1092 poste 1097
sherin.abdelhamid@oce-ontario.org



Mona Eghanian

Gestionnaire principale, automobile et mobilité
(416) 861 1092, poste 9-1076
mona.eghanian@oce-ontario.org



Daniel Graham

Gestionnaire, Portefeuille automobile et mobilité
(416) 861 1092, poste 9-1107
daniel.graham@oce-ontario.org



Martin Lord

Gestionnaire principal, secteur de l'automobile et de la mobilité
(905) 823 2020, poste 9-3236
martin.lord@oce-ontario.org



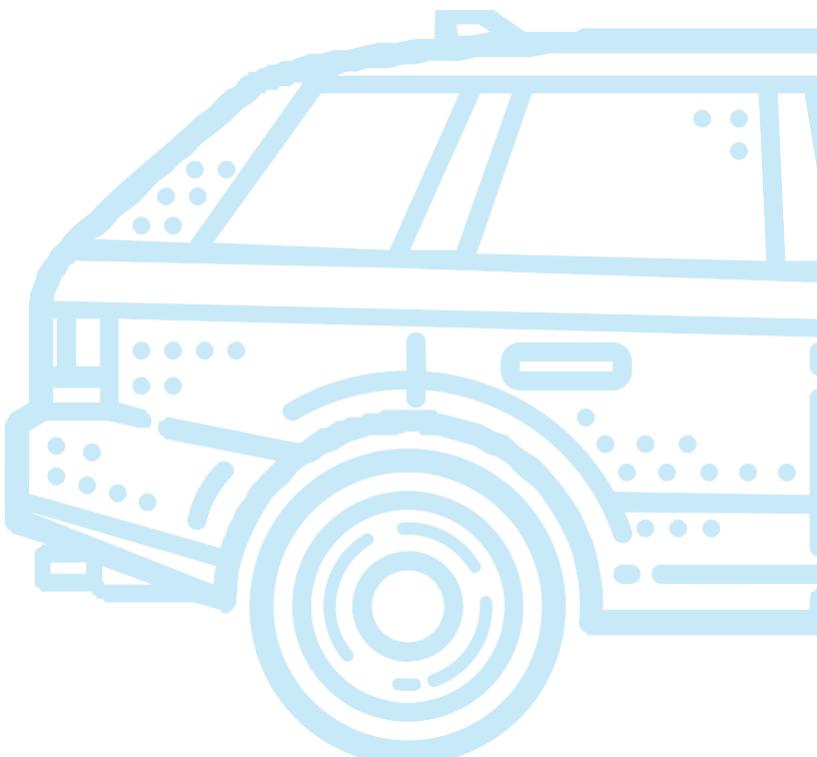
Dan Ruby

Gestionnaire en développement commercial et commercialisation
(866) 759 6014, poste 9-3249
dan.ruby@oce-ontario.org



Shane Daly

Coordinateur, Équipe de l'automobile et de la mobilité
(416) 861 1092, poste 9-5017
shane.daly@oce-ontario.org





À PROPOS DU RIVA

L'initiative du **Réseau d'innovation pour les véhicules automatisés (RIVA)** est financée par le gouvernement de l'Ontario pour appuyer l'avantage concurrentiel de l'Ontario dans le secteur de l'automobile et renforcer sa position de chef de file nord-américain dans les technologies de pointe de l'automobile et de la mobilité, y compris les systèmes de transport et d'infrastructure.

Cette initiative mise sur le potentiel économique des technologies de véhicules connectés et autonomes (VCA) en appuyant la commercialisation de solutions de pointe conçues en Ontario qui créent des emplois, stimulent la croissance économique et améliorent la compétitivité sur le plan mondial. Le RIVA permet également d'aider les systèmes et l'infrastructure de transport de l'Ontario à s'adapter à ces nouvelles technologies.

PRIORITÉS

Les programmes du RIVA sont axés sur le soutien au développement et à la démonstration de technologies VCA dans les véhicules légers (p. ex., les voitures, les camions et les fourgonnettes), les véhicules lourds (véhicules commerciaux, camions, autobus et VR), les infrastructures de transport, les systèmes de transport intelligents (STI) et les systèmes de soutien du transport en commun.

Le RIVA est administré au nom du gouvernement de l'Ontario par les Centres d'excellence de l'Ontario (CEO). L'initiative comprend cinq programmes distincts et un bureau central. Les programmes du RIVA sont :

- le fonds de partenariats en recherche et développement pour les VA
- WinterTech • le développement des talents
- la zone pilote
- les sites régionaux de développement de technologies

Le bureau central du RIVA est constitué d'une équipe dévouée qui soutient la prestation et l'administration des programmes du RIVA et qui remplit les fonctions essentielles suivantes :

- Liaison et coordination — centre de liaison aidant à coordonner les activités entre l'industrie, le secteur de l'enseignement, les organismes de recherche et les gouvernements, en plus de mettre en contact les partenaires intéressés et les membres du public;
- Détermination des possibilités — transmission des connaissances, recherche, données et renseignements, analyse des tendances, et lien entre la technologie et les politiques;
- Sensibilisation et éducation — promotion des programmes du RIVA, des essais pilotes des VA de l'Ontario, et du secteur en pleine croissance des VCA en Ontario.

Le Réseau répond à cinq objectifs :

- 01 Commercialiser les technologies des systèmes d'infrastructures et de transport et des VCA;
- 02 Faire connaître et promouvoir le rôle de leader de l'Ontario en communiquant des informations à cet égard;
- 03 Favoriser l'innovation et la collaboration;
- 04 Tirer parti des talents ontariens;
- 05 Soutenir les pôles de collaboration entre les écosystèmes de connaissances et le secteur automobile.



Nous souhaitons remercier le gouvernement de l'Ontario pour son soutien aux programmes et aux activités du RIVA.

Nous souhaitons également remercier les organismes partenaires qui travaillent avec les CEO à la prestation des programmes du RIVA, notamment les sites régionaux de développement des technologies et la zone pilote de Stratford.