Promouvoir la durabilité dans un monde interconnecté

Le comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des technologies de l'information et des communications (TIC) pour écologiser le Canada

Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

La savoir au service du public

PROMOUVOIR LA DURABILITÉ DANS UN MONDE INTERCONNECTÉ

Le comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des technologies de l'information et des communications (TIC) pour écologiser le Canada

LE CONSEIL DES ACADÉMIES CANADIENNES
180, rue Elgin, bureau 1401, Ottawa (Ontario) Canada K2P 2K3

Avis : Le projet sur lequel porte ce rapport a été entrepris avec l'approbation du conseil des gouverneurs du Conseil des académies canadiennes (CAC). Les membres du conseil des gouverneurs sont issus de la Société royale du Canada (SRC), de l'Académie canadienne du génie (ACG) et de l'Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS), ainsi que du grand public. Les membres du comité d'experts responsable du rapport ont été choisis par le CAC en raison de leurs compétences spécifiques et dans le but d'obtenir un éventail équilibré de points de vue.

Ce rapport a été préparé pour Environnement Canada. Les opinions, constatations et conclusions présentées dans cette publication sont celles des auteurs, à savoir les membres du comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des technologies de l'information et des communications (TIC) pour écologiser le Canada, et ne reflètent pas nécessairement les points de vue des organisations où ils travaillent ou auxquelles ils sont affiliés.

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada
Promouvoir la durabilité dans un monde interconnecté / Comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des TIC pour écologiser le Canada.

Publié aussi en anglais sous le titre : Enabling sustainability in an interconnected world.

Comprend des références bibliographiques et un index.

Publié en formats imprimé(s) et électronique(s).

ISBN 978-1-926558-83-7 (relié). – ISBN 978-1-926558-84-4 (pdf)

1. Durabilité de l'environnement – Canada. 2. Technologie de protection de l'environnement – Canada. I. Conseil des académies canadiennes. Comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des TIC pour écologiser le Canada, auteur

HC120.E5E4314 2014 338.971 C2014-902035-X
C2014-902036-8

Ce rapport peut être cité comme suit : Conseil des académies canadiennes, 2014. *Promouvoir la durabilité dans un monde interconnecté.* Ottawa, ON : Le comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des technologies de l'information et des communications (TIC) pour écologiser le Canada, Conseil des académies canadiennes

Avis de non-responsabilité : Au meilleur de la connaissance du CAC, les données et les informations tirées d'Internet qui figurent dans le présent rapport étaient exactes à la date de publication du rapport. En raison de la nature dynamique d'Internet, des ressources gratuites et accessibles au public peuvent subséquemment faire l'objet de restrictions ou de frais d'accès, et l'emplacement des éléments d'information peut changer lorsque les menus et les pages Web sont modifiés.

© 2014 Conseil des académies canadiennes

Imprimé à Ottawa, Canada

Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

Canada Cette évaluation a été rendue possible grâce au soutien du gouvernement du Canada.

Le Conseil des académies canadiennes

Le savoir au service du public

Le Conseil des académies canadiennes (CAC) est un organisme indépendant à but non lucratif qui soutient des évaluations spécialisées indépendantes, étayées scientifiquement et faisant autorité, qui alimentent l'élaboration de politiques publiques au Canada. Dirigé par un conseil de 12 gouverneurs et conseillé par un comité consultatif scientifique de 16 membres, le CAC a pour champ d'action la « science » au sens large, ce qui englobe les sciences naturelles, les sciences humaines et sociales, les sciences de la santé, le génie et les lettres. Les évaluations du CAC sont effectuées par des comités pluridisciplinaires indépendants d'experts provenant du Canada et de l'étranger. Ces évaluations visent à cerner des problèmes nouveaux, des lacunes de nos connaissances, les atouts du Canada, ainsi que les tendances et les pratiques internationales. Ces études fournissent aux décideurs gouvernementaux, aux universitaires et aux parties prenantes l'information de grande qualité dont ils ont besoin pour élaborer des politiques publiques éclairées et innovatrices.

Tous les rapports d'évaluation du CAC sont soumis à un examen formel. Ils sont publiés en français et en anglais, et mis à la disposition du public sans frais. Des fondations, des organisations non gouvernementales, le secteur privé et tout palier de gouvernement peuvent soumettre au CAC des questions susceptibles de faire l'objet d'une évaluation. Le CAC bénéficie aussi du soutien de ses trois académies membres fondatrices :

La Société royale du Canada (SRC) est le principal organisme national regroupant d'éminents scientifiques, chercheurs et gens de lettres au Canada. La SRC a pour objectif premier de promouvoir l'acquisition du savoir et la recherche en arts et en sciences. La Société est composée de près de 2 000 membres, hommes et femmes, choisis par leurs pairs pour leurs réalisations exceptionnelles en sciences naturelles, en sciences sociales, en sciences humaines et dans les arts. La SRC s'attache à reconnaître l'excellence universitaire, à conseiller les gouvernements et les organisations, ainsi qu'à promouvoir la culture canadienne.

L'Académie canadienne du génie (ACG) est l'organisme national par l'entremise duquel les ingénieurs les plus chevronnés et expérimentés du Canada offrent au pays des conseils stratégiques sur des enjeux d'importance primordiale. Fondée en 1987, l'ACG est un organisme indépendant, autonome et à but non lucratif. Les membres de l'ACG sont nommés et élus par leurs pairs en reconnaissance de leurs réalisations exceptionnelles et de leurs longs états de service au sein

de la profession d'ingénieur. Au nombre d'environ 600, les membres de l'ACG s'engagent à faire en sorte que les connaissances expertes en génie du Canada soient appliquées pour le plus grand bien de tous les Canadiens.

L'Académie canadienne des sciences de la santé (ACSS) reconnaît les personnes qui ont à leur actif de grandes réalisations dans le domaine des sciences de la santé au Canada. Fondée en 2004, l'ACSS compte quelque 400 membres et en élit de nouveaux chaque année. L'organisation est dirigée par un conseil d'administration et un comité exécutif bénévoles. La première fonction de l'ACSS consiste à fournir en temps opportun des évaluations éclairées et impartiales sur des questions urgentes qui touchent la santé des Canadiens et des Canadiennes. L'ACSS surveille également les événements mondiaux reliés à la santé, afin d'améliorer l'état de préparation du Canada en la matière, et assure une représentation du pays en sciences de la santé sur le plan international. L'ACSS fait autorité au nom de la collectivité multidisciplinaire des sciences de la santé.

www.sciencepourlepublic.ca
@scienceadvice

Le comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des technologies de l'information et des communications (TIC) pour écologiser le Canada

David MIller (président), président et chef de la direction, WWF-Canada (Toronto, Ont.)

Christine Chan, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en informatique de l'énergie et de l'environnement; Professeure de génie des systèmes logiciels, Université de Regina (Regina, Sask.)

Charles Despins, président-directeur général, Prompt inc.; professeur de génie électrique, École de Technologie Supérieure, Université du Québec (Montréal, Qc)

Gordon Feller, directeur de l'innovation urbaine, Cisco (San Jose, Californie)

Ingrid Götzl, directrice de projets, Affaires TIC internationales, Municipalité de Vienne (Vienne, Autriche)

Anthony Heyes, professeur d'économie; titulaire de la Chaire de recherche du Canada en économie de l'environnement, Université d'Ottawa (Ottawa, Ont.)

Steve Liang, professeur adjoint en systèmes d'information géographique; titulaire de la Chaire de recherche industrielle AITF-Microsoft sur les réseaux de capteurs ouverts, Université de Calgary (Calgary, Alb.)

Benoit Montreuil, professeur, titulaire de la Chaire de recherche du Canada en ingénierie d'entreprises, Département des opérations et systèmes de décision, Faculté des sciences de l'administration, Université Laval (Québec, Qc)

Kip Morison, agent en chef de la technologie, British Columbia Hydro and Power Authority (Vancouver, C.-B.)

Jatin Nathwani, professeur, titulaire de la Chaire de recherche de l'Ontario en politique publique et le développement durable, Faculté de génie et Faculté de l'environnement, Université de Waterloo; directeur administratif, Waterloo Institute for Sustainable Energy, Université de Waterloo (Waterloo, Ont.)

Jane Pagel, ancienne présidente-directrice générale, Agence ontarienne des eaux (Toronto, Ont.)

Tom Rand, conseiller principal sur les technologies propres, MaRS Discovery District (Toronto, Ont.)

John Robinson, vice-recteur, Développement durable, Université de la Colombie-Britannique; professeur, Institut des ressources, de l'environnement et du développement durable; professeur, Département de géographie, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

Le CAC reconnaît également la contribution importante à cette évaluation de Mark Surman, directeur général, Fondation Mozilla.

Message du président

Nous en sommes aujourd'hui au seuil d'un changement fondamental, transformateur, suscité par la puissante convergence des technologies de l'information et de notre monde matériel. Parallèlement, les défis croissants qui se posent sur les plans de l'environnement, de l'économie et de l'inclusion sociale engendrent la nécessité de trouver des solutions novatrices pour assurer notre bien-être environnemental, économique et social : le triple aboutissement d'une durabilité véritable.

Le comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des technologies de l'information et des communications (TIC) pour écologiser le Canada a été créé en réponse à une requête présentée par Environnement Canada au CAC pour qu'il examine les possibilités existantes ou potentielles d'utiliser les technologies de l'information et des communications pour bâtir un Canada plus écologique.

Le rapport qui suit est le fruit des efforts et des contributions de 12 experts provenant de divers domaines, au Canada et à l'étranger, et de moi-même, à titre de président. Je suis extrêmement reconnaissant envers mes collègues du comité d'experts qui n'ont pas ménagé leur temps et leurs efforts pour assurer la qualité et la profondeur de ce rapport.

Durant ses délibérations, le comité d'experts a fait appel à de nombreuses personnes et organisations qui ont soumis de précieux renseignements à son attention. Nos remerciements s'adressent tout particulièrement aux personnes suivantes : Helen Gurfel, Greenprint Center; Darryl Neat, Oxford Properties; Ian Philp, Jesika Briones et Lynda O'Malley, MaRS; et Molly O'Neill, CGI. En outre, je voudrais exprimer mon appréciation à la société CISCO qui a accueilli la troisième rencontre du comité d'experts par téléprésence.

Enfin, le comité d'experts est reconnaissant de l'appui reçu des membres du Conseil des académies canadiennes qui ont été affectés à cette évaluation.

Le président du comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des technologies de l'information et des communications (TIC) pour écologiser le Canada.

David Miller

Personnel responsable du projet au Conseil des académies canadiennes

Équipe de l'évaluation : Emmanuel Mongin, directeur intérimaire de programmes
Kori St. Cyr, associé de recherche
Rebecca Chapman, chercheuse
Michelle Auger, coordonnatrice de programmes
Aatif Baskanderi, stagiaire
Monica Harvey, stagiaire

Avec la participation de : Doug Wright, directeur de programmes
Ken Ogilvie, consultant
Eve Rickert, révision du texte anglais
Harriet Gorham, révision du texte anglais
Lynelle Spring, révision du texte anglais
Clare Walker, révision du texte anglais
Jean Pierre Toupin, CIGC inc., traduction de l'anglais au français
Accurate Design & Communication, conception graphique

Examen du rapport

Ce rapport a été examiné, à l'état d'ébauche, par les personnes mentionnées ci-dessous. Celles-ci ont été choisies par le Conseil des académies canadiennes pour refléter une diversité de points de vue, de domaines de spécialisation et d'origines, dans les secteurs des établissements universitaires, de l'entreprise privée, des politiques et des organisations non gouvernementales.

Ces examinateurs ont évalué l'objectivité et la qualité du rapport. Leurs avis — qui demeureront confidentiels — ont été pleinement pris en considération par le comité d'experts, et un grand nombre de leurs suggestions ont été incorporées dans le rapport. Nous n'avons pas demandé à ces personnes d'approuver les conclusions du rapport, et elles n'ont pas vu la version définitive du rapport avant sa publication. Le comité d'experts qui a effectué l'évaluation et le Conseil des académies canadiennes assument l'entière responsabilité du contenu définitif de ce rapport.

Le CAC tient à remercier les personnes suivantes d'avoir bien voulu examiner le rapport :

Peter Corbyn, chef de l'écologisation, Green Nexxus (Fredericton, N.-B.)

James Cuff, vice-doyen, Informatique de la recherche, Université Harvard (Cambridge, MA)

John G. Jung, président-directeur général, Canada's Technology Triangle Inc. (Waterloo, Ont.)

Brenda Lucas, gestionnaire des opérations, Southern Ontario Water Consortium (Waterloo, Ont.)

William Pulleyblank, professeur de recherche opérationnelle, Académie militaire des États-Unis (West Point, NY)

Mark Roseland, professeur et directeur du Centre for Sustainable Community Development, Faculté de l'environnement, Université Simon Fraser (Burnaby, C.-B.)

David Runnalls, associé principal, Sustainable Prosperity (Ottawa, Ont.)

Farid Shirazi, directeur associé et professeur adjoint, Ted Rogers School of Information Technology Management, Université Ryerson (Toronto, Ont.)

Bill St. Arnaud, président, St. Arnaud-Walker and Associates (Ottawa, Ont.)

Graham Vickery, ancien chef du Groupe de l'économie de l'information, Organisation de coopération et de développement économiques (Paris, France)

Vivek Wadhwa, associé, Arthur and Toni Rembe Rock Center for Corporate Governance, Université Stanford (Stanford, CA)

La procédure d'examen du rapport a été supervisée, au nom du conseil des gouverneurs et du comité consultatif scientifique du CAC, par **Lorne Babiuk, O.C., MSRC, MACSS,** vice-président à la recherche, Université de l'Alberta (Edmonton, Alb.). Son rôle était de veiller à ce que le comité d'experts prenne en considération de façon entière et équitable les avis des examinateurs. Le conseil des gouverneurs du CAC n'autorise la publication du rapport d'un comité d'experts qu'une fois que la personne chargée de superviser l'examen du rapport confirme que le rapport satisfait bien aux exigences du CAC. Le CAC remercie M. Babiuk d'avoir supervisé consciencieusement l'examen du rapport.

La présidente-directrice générale du Conseil des académies canadiennes,

Elizabeth Dowdeswell, O.C.

Sommaire

L'avenir sera façonné par des niveaux de plus en plus élevés de connectivité — la connectivité parmi les gens et la connectivité parmi les objets. Aujourd'hui, tout ce qui peut être connecté à la bande passante à haute vitesse a le potentiel de devenir intelligent et ces appareils intelligents sont reliés dans des systèmes complexes qui pourraient changer la façon dont les Canadiens vivent, travaillent et se divertissent. Le monde s'apprête à vivre un changement transformationnel fondamental — une puissante convergence de la capacité de calcul numérique et des technologies de l'information avec les infrastructures matérielles et les organisations qui nous fournissent l'énergie, l'eau, la nourriture et les services de transport et de communication. Cette convergence des technologies de l'information et des communications (TIC) et du monde matériel pourrait susciter une amélioration significative de la performance environnementale, de la productivité économique, de la santé et du bien-être social au Canada. En d'autres termes, jumelées à l'infrastructure matérielle et à la conception institutionnelle, les TIC pourraient aider le Canada à prendre la voie de la durabilité. Le renforcement des moyens d'action des citoyens — comme consommateurs et décideurs sociaux — est un volet clé de cette vision.

APPROCHE ADOPTÉE PAR LE COMITÉ D'EXPERTS POUR L'EXÉCUTION DU MANDAT

En 2011, au nom d'Environnement Canada (le commanditaire), le ministre de l'Environnement a demandé au Conseil des académies canadiennes (CAC) de répondre à la question suivante :

> *Quelles occasions existantes ou potentielles nous permettraient d'exploiter les technologies de l'information et des communications (les TIC) de sorte à écologiser le Canada?*

Pour s'acquitter de ce mandat et répondre aux quatre sous-questions connexes, le CAC a fait appel aux secteurs universitaire, gouvernemental et privé pour constituer un comité de 13 experts Canadiens et étrangers possédant des antécédents dans les domaines de la durabilité, des sciences environnementales, des sciences informatiques, de l'économique, du génie et des politiques. Le présent rapport est le fruit du consensus auquel en sont arrivés les membres du comité d'experts à la lumière des données qu'ils ont recueillies, de leurs délibérations et de leur expérience collective.

Les discussions portant sur les TIC risquent souvent de se perdre dans des détails techniques pointus qui ne sont pas largement compris et qui peuvent rapidement devenir désuets. Le comité d'experts a plutôt mis l'accent sur la façon dont les TIC pourraient profiter aux Canadiens dans leur vie quotidienne et sur les outils qui pourraient aider à surmonter les défis qui rendent difficile de récolter ces avantages. Le commanditaire a convenu de l'interprétation faite par le comité d'experts, soit d'orienter l'évaluation vers les possibilités qui laissent entrevoir des avantages économiques, sociaux et environnementaux, englobant les trois piliers qui sous-tendent la notion de durabilité.

Définir la durabilité : La *Loi fédérale sur le développement durable* définit ainsi la *durabilité* : « Le gouvernement du Canada souscrit au principe fondamental selon lequel le développement durable est fondé sur l'utilisation écologiquement rationnelle des ressources naturelles, sociales et économiques et reconnaît la nécessité de prendre ses décisions en tenant compte des facteurs environnementaux, économiques et sociaux » (Ministre de la Justice, 2013a). Aux fins de la présente évaluation, le comité d'experts a adopté une approche de la durabilité qui englobe les améliorations du bien-être environnemental, économique et social.

La démarche du comité d'experts a d'abord consisté à définir certaines dimensions de la capacité du Canada de créer, de mettre en œuvre et d'exploiter des débouchés rendus possibles par les TIC, de même que les composantes clés et les caractéristiques des technologies qui peuvent être appliquées pour promouvoir la durabilité environnementale, économique et sociale. Le comité d'experts a ensuite répertorié ces possibilités et leurs avantages potentiels en faisant ressortir certaines pratiques prometteuses au Canada et à l'étranger. Enfin, le comité d'experts a cerné certains défis courants à la réalisation de ces possibilités et il a exploré les solutions qui s'offrent pour atténuer ou surmonter ces défis (voir la figure 1). Le comité d'experts n'a pas cherché à faire un bilan exhaustif de ces possibilités ou de ces solutions, ou à leur donner un caractère normatif. Il a plutôt choisi de présenter une gamme d'options venant du Canada et d'ailleurs dans le monde susceptibles de faciliter l'adoption de possibilités durables reposant sur les TIC.

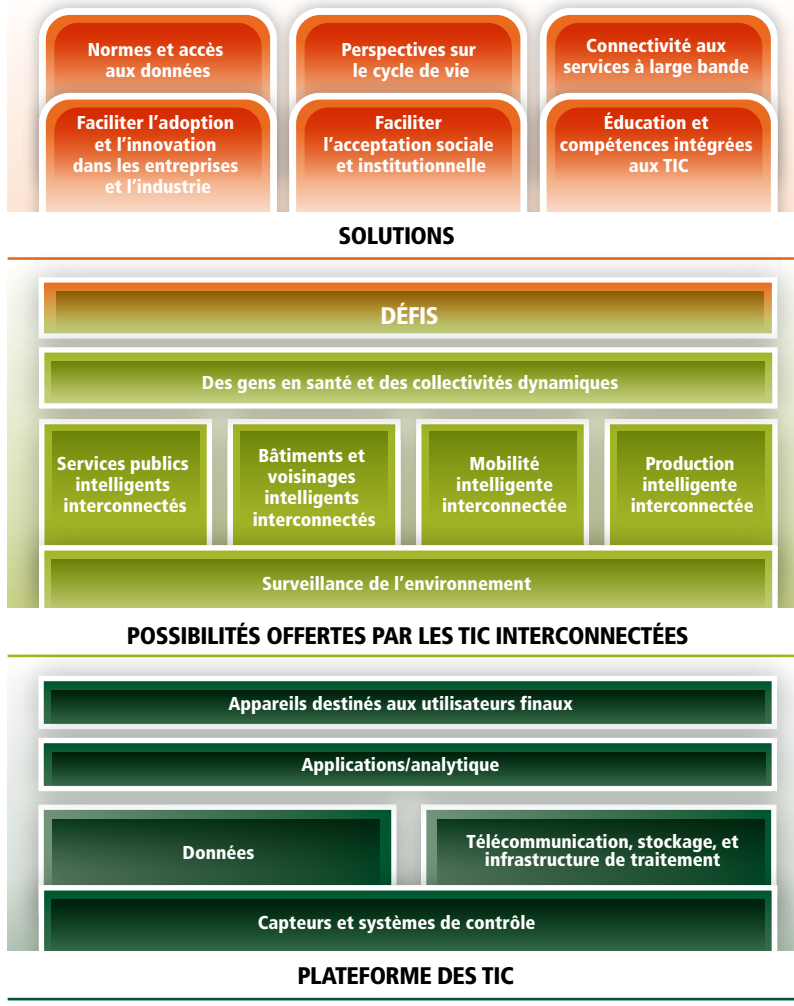


Figure 1

Feuille de route du rapport : vers un Canada durable grâce aux TIC

Le rapport débute par une analyse de la plateforme des TIC qui sert de base à l'application des TIC pour aider à atteindre la durabilité. Les avantages les plus importants peuvent être obtenus lorsque les composantes de la plateforme des TIC sont intégrées dans un système complémentaire. Sur cette base, on retrouve les possibilités des TIC interconnectées qui utilisent la plateforme des TIC pour produire des avantages environnementaux, économiques et sociaux. Le comité d'experts a opté pour présenter ces possibilités en six domaines thématiques clés : surveillance de l'environnement; services publics intelligents interconnectés; bâtiments et voisinages intelligents interconnectés; mobilité intelligente interconnectée; production intelligente interconnectée; des gens en santé et des collectivités dynamiques. La partie supérieure de la feuille de route présente certaines solutions ciblées pour aider à surmonter ces défis afin d'assurer une exploitation réussie des possibilités offertes par les TIC interconnectées.

PRINCIPALES CONSTATATIONS : UTILISER LES TIC POUR FAIRE PROGRESSER LA DURABILITÉ AU CANADA

La capacité du Canada

Parmi les nombreuses dimensions pertinentes de la capacité du Canada de développer, de mettre en œuvre et d'exploiter les possibilités offertes par les TIC, le comité d'experts s'est intéressé plus particulièrement à trois d'entre elles dans le contexte de la présente évaluation :

L'adoption de technologies : De façon générale, le Canada est une société bien connectée où les gens et les entreprises adoptent des appareils personnels issus des TIC tels que les téléphones intelligents et les tablettes. Cependant, il y a encore place à l'amélioration; comparé à d'autres pays similaires, le Canada arrive loin au classement pour ce qui est de la pénétration et de la diffusion des TIC parmi la population, et la capacité des entreprises d'adopter des technologies. Les données montrent aussi que les entreprises canadiennes tirent généralement de l'arrière sur celles d'autres pays comparables au chapitre de l'investissement dans les TIC.

L'infrastructure matérielle et de recherche : Le Canada a démontré son leadership dans le développement de certaines infrastructures qui tirent profit des TIC pour la recherche et la production de connaissances, y compris le réseau de capteurs océaniques NEPTUNE et le réseau de recherche et d'innovation CANARIE. Le Canada profite également du fait que certains établissements d'enseignement supérieur sont des chefs de file de la recherche sur les TIC, ainsi que d'un secteur des TIC reconnu pour son dynamisme en recherche et développement industriels. En dépit de cela, même si presque tous les Canadiens ont accès au service Internet à large bande, la qualité de cet accès varie sensiblement d'une région à l'autre du pays.

Les compétences : Il est difficile d'évaluer la capacité du Canada au chapitre des compétences requises pour développer, adopter et exploiter pleinement les possibilités offertes par les TIC. Un avantage important est la force du Canada en recherche sur les TIC. Cependant, une situation qui n'est pas unique au Canada est l'asymétrie possible entre les compétences requises pour exploiter pleinement les possibilités offertes par les TIC, examinées dans le présent rapport, et les compétences actuelles de la population active.

Les possibilités

Dans l'ensemble, le comité d'experts est arrivé à la conclusion qu'il y avait des possibilités considérables de promouvoir et de soutenir la durabilité en ayant recours aux TIC pour mettre à profit les forces et les capacités actuelles

du Canada. Ces possibilités vont de changements à petite échelle, comme les applications qui renseignent les consommateurs sur leur consommation d'eau, à des changements de vaste portée, par exemple le remplacement des réseaux de services publics vieillissants par des technologies de réseaux intelligents. Les applications nouvelles et émergentes des TIC peuvent servir à influencer la façon dont des décisions sont prises. À titre d'exemple, les réseaux de capteurs fournissent des renseignements sur l'environnement qui peuvent orienter la prise de décision des gouvernements et des particuliers. Le comité d'experts a défini cinq composantes techniques interdépendantes — formant la plateforme des TIC — qui apparaissent essentielles pour de nombreuses possibilités offertes par les TIC : i) les appareils destinés à l'utilisateur final; ii) les données; iii) les applications et l'analytique de données; iv) les télécommunications, le stockage et l'infrastructure de traitement; v) les capteurs et les contrôles.

Le comité d'experts a concentré son attention sur six domaines thématiques choisis parce qu'ils englobent les possibilités liées aux TIC qui procureraient des avantages environnementaux, économiques et sociaux, facilitent la réflexion dans l'ensemble des secteurs et touchent directement la vie quotidienne des Canadiens :

(i) *La surveillance de l'environnement :* Des réseaux fiables de capteurs reliant les Canadiens à leur environnement permettent d'avoir accès à de l'information exacte et précise sur l'état de l'environnement et la façon dont il évolue avec le temps. La télédétection, la surveillance et l'analytique intelligentes, partout et en tout temps, peuvent transformer la prise de décision fondée sur des données probantes, et de résoudre des problèmes de nature sociale et environnementale, et liés aux ressources naturelles. Ainsi, de meilleures données sur la qualité de l'air et de l'eau appuient l'application de la réglementation en facilitant la détection hâtive des problèmes et, conjuguées à d'autres données, pourraient engendrer une meilleure compréhension.

(ii) *Des services publics intelligents interconnectés :* Les applications des TIC peuvent aider à moderniser les réseaux d'électricité et d'aqueduc, à promouvoir une gestion durable des services publics et à donner à l'utilisateur final la possibilité de faire des choix. Les réseaux intelligents peuvent transformer la façon dont les services publics sont produits et fournis partout au Canada — en réduisant au minimum les effets sur l'environnement, notamment les pertes d'eau et d'électricité au cours du transport, en abaissant les coûts pour les exploitants et les consommateurs, et en assurant la fiabilité du service.

(iii) *Des bâtiments et des voisinages intelligents interconnectés :* Les applications des TIC comme les systèmes de régulation des bâtiments ont déjà contribué à améliorer l'efficience électrique des bâtiments en réduisant leurs émissions de gaz à effet de serre (GES). D'autres avancées potentielles pourraient atténuer l'impact du milieu bâti sur l'environnement — de la conception à l'exploitation. L'évolution vers des services et des fonctions intégrés et interconnectés — des réseaux de bâtiments et d'infrastructures à l'échelle du voisinage — est un progrès important à cet égard. Des systèmes locaux intégrés comme la production d'énergie renouvelable sur place pourraient permettre d'offrir des services ayant une plus grande efficience environnementale et économique.

(iv) *La mobilité intelligente interconnectée :* Les applications des TIC disponibles peuvent renforcer les liens entre les gens et les entreprises et entre les Canadiens et les produits et services qu'ils utilisent. Des applications pourraient ainsi permettre un déplacement plus rapide des véhicules de transport en commun dans les villes ou le recours à une logistique intelligente pour un transport des marchandises plus efficient. Ces systèmes intelligents interconnectés permettraient de hausser la productivité tout en réduisant au minimum les coûts et les émissions nocives dans l'atmosphère, dont les GES.

(v) *La production intelligente interconnectée :* Grâce à des applications comme les moteurs intelligents, les TIC pourraient améliorer l'efficience du matériel et des procédés de fabrication en réduisant les émissions de GES et en abaissant les coûts d'exploitation. La production et les procédés agricoles — notamment l'irrigation — pourraient également profiter des applications des TIC en favorisant une plus grande efficience dans l'utilisation de l'eau et en changeant la façon dont les aliments sont acheminés du producteur vers le consommateur.

(vi) *Des gens en santé et des collectivités dynamiques :* Les TIC peuvent permettre de faire face à des défis sociaux en facilitant l'avènement de nouvelles formes de prise de décision et de gouvernance participatives. À leur tour, ces changements pourraient accroître et accélérer les améliorations décrites au niveau de la surveillance de l'environnement, des services publics, des bâtiments, de la mobilité et de la production. Les applications des TIC pourraient aussi améliorer l'accès aux services éducatifs et la qualité des soins de santé.

Enfin, le Canada est bien placé pour devenir un chef de file mondial du secteur des centres de données verts. Les activités de fabrication et d'exploitation liées aux TIC ont elles-mêmes des effets nocifs sur l'environnement. Les centres de données verts sont l'une des nombreuses initiatives visant à réduire ces effets grâce à une centralisation de processus tels que la virtualisation des

serveurs et des réseaux. Le Canada jouit d'un approvisionnement stable en électricité ne produisant pas d'émissions nocives qui pourrait alimenter des dépôts de données énergivores; le pays a aussi un climat froid qui réduirait les besoins en énergie des systèmes de climatisation. L'approvisionnement de tels centres en électricité dans les régions possédant ces attributs et la possibilité de profiter d'une concentration de telles installations pour fournir de la chaleur à des systèmes d'énergie communautaires auraient un impact positif sur l'environnement, en plus de procurer des avantages économiques et sociaux au Canada.

Des défis communs

Le Canada a beaucoup de chemin à parcourir s'il veut exploiter pleinement le potentiel qu'offrent les TIC en vue d'améliorer la performance et la prise de décision en matière d'environnement, les débouchés économiques et les avantages sociaux. Libérer un tel potentiel au profit du Canada doit passer par la conception, la sélection et la mise en œuvre rapide et fructueuse d'applications des TIC spécifiques à divers contextes. En analysant le catalogue de possibilités associées aux TIC qu'il a dressé, le comité d'experts a reconnu certains défis communs :

- les coûts réels ou appréhendés de la mise en œuvre de la technologie et de l'infrastructure correspondante;
- le manque d'accès aux données et d'interopérabilité;
- le manque de compétences nécessaires dans les TIC;
- les questions relatives à la protection de la vie privée et à la sécurité;
- les facteurs comportementaux;
- les effets de second ordre;
- la connectivité inadéquate au service à large bande dans les régions rurales.

Un examen plus attentif de ces défis fait ressortir certains problèmes connexes de nature plus spécifique : une asymétrie possible sur le marché du travail canadien entre les compétences recherchées par les employeurs et celles que possèdent les personnes à la recherche d'un emploi; des difficultés inhérentes au passage d'une utilisation à petite échelle par un nombre limité d'usagers au déploiement à une échelle beaucoup plus grande; enfin, des contraintes posées par des systèmes de données fragmentés.

Le comité d'experts a également observé qu'une approche intégrée serait utile pour définir et résoudre les défis qui se posent et élaborer des solutions. Cibler individuellement des défis et des solutions risquerait de limiter le potentiel transformateur des possibilités associées aux TIC.

Surmonter les défis : les solutions possibles

Bien qu'il n'y ait pas de solution unique convenant à toutes les applications des TIC et à toutes les sphères de compétence, le comité d'experts a retenu les options suivantes en vue d'aider à surmonter les défis énumérés ci-dessus :

- *Des installations de démonstration à petite échelle* pour limiter éventuellement le risque et l'incertitude inhérents aux solutions non éprouvées ou comportant un risque élevé (p. ex. les laboratoires vivants);
- *Des instruments de politique* visant à accroître la demande et à corriger les déficiences du marché (p. ex. les achats verts);
- *Une amélioration des normes* en vue de promouvoir l'interopérabilité;
- *L'accessibilité des données* pour favoriser une gestion plus souple des applications et s'assurer que les données soient ouvertes et accessibles pour une utilisation plus large;
- *Une meilleure conception des TIC et des approches axées sur la protection de la vie privée* pour assurer l'adoption, la confidentialité et la sécurité, et donner aux gens un contrôle sur leurs renseignements personnels, tout en facilitant l'exploitation des avantages socioéconomiques des mégadonnées et des technologies intelligentes (p. ex. la protection intégrée de la vie privée);
- *L'amélioration de la littéracie* numérique et informatique pour positionner le Canada comme un acteur concurrentiel dans l'univers numérique en évolution rapide;
- *Une perspective axée sur le cycle de vie ou le cycle de vie social* pour aider à déterminer les effets de second ordre de l'exploitation des possibilités offertes par les TIC;
- *Combler les écarts au niveau de la connectivité* afin de maintenir la compétitivité internationale du Canada en matière d'accès et de disponibilité du service à large bande.

Pratiques prometteuses

Le comité d'experts a observé de nombreux exemples de pratiques prometteuses à l'étranger et au Canada; celles-ci sont examinées tout au long du rapport. Elles englobent des pratiques ciblées visant à tirer parti des TIC pour atteindre des objectifs précis, comme des normes de conception et des aides pour accroître l'efficience énergétique des bâtiments, ainsi que des politiques et des approches de plus vaste portée qui pourraient éventuellement aider le Canada à surmonter les défis plus redoutables que soulèvent les possibilités offertes par les TIC. Voici certains des exemples mis en lumière : Technologies du développement durable du Canada, une organisation qui pourrait aider à faire le pont entre la recherche et la commercialisation; les principes de la protection intégrée de la vie privée, un genre de politique qui prend en compte les préoccupations relatives à la vie privée; les politiques de l'Allemagne et de l'Australie en matière de service à large bande, qui sont des programmes nationaux visant à combler les écarts au chapitre de la connectivité.

LA VOIE À SUIVRE

Au terme de ses activités de collecte de données et de ses délibérations et à la lumière de son expérience collective, le comité d'experts a retenu cinq éléments qui pourraient permettre au Canada d'utiliser les TIC de façon stratégique pour atteindre plus facilement la durabilité.

Repenser les TIC

Le plus grand impact de l'application des cinq composantes qui forment la plateforme des TIC proviendra de solutions intégrées tirant parti de l'ensemble des composantes des TIC. De plus, la mise en œuvre d'une application des TIC aura plus de chance de réussir si la planification part d'une vision intégrée de ses dimensions sociale, politique et institutionnelle, ainsi que du contexte local.

Connecter les Canadiens

Le Canada accuse un écart de connectivité numérique entre le service Internet fourni aux collectivités rurales et celui disponible dans les centres urbains. Même si presque tous les Canadiens ont accès au service Internet à large bande, la vitesse varie sensiblement entre les régions. Les régions rurales ne disposent pas toujours des vitesses nécessaires pour profiter pleinement des nombreuses applications des TIC. Si, dans un contexte technologique, la connectivité fait ordinairement référence à l'accès à Internet, il serait possible d'améliorer d'autres liens importants au Canada grâce aux applications des TIC. Par exemple : des connexions aux réseaux d'électricité et d'aqueduc par le passage à des services publics intelligents interconnectés; des connexions avec le milieu naturel en utilisant des réseaux de capteurs fiables pour la surveillance de l'environnement; enfin, des connexions entre les gens et les entreprises grâce à la mobilité intelligente interconnectée.

Habileter les gens, les gouvernements et les entreprises

La technologie ne peut, à elle seule, faire avancer le Canada sur la voie de la durabilité. Les avantages éventuels des possibilités offertes par les TIC surgiront lorsque les utilisateurs découvriront et adopteront des façons novatrices d'appliquer les technologies. Assurer l'accès aux données facilitera leur utilisation de façons nouvelles qui pourraient engendrer des bénéfices supplémentaires non anticipés. De nombreux gouvernements reconnaissent l'importance de l'ouverture des données et ils s'efforcent de plus en plus de rendre leurs données publiques.

Dans bien des cas, des avantages importants pourraient découler d'une autonomisation des utilisateurs grâce aux TIC. Les technologies axées sur la connectivité donnent aux gens la possibilité de jouer un rôle plus actif

dans la gestion de leur vie, et elles fournissent l'information nécessaire aux particuliers, aux gouvernements et aux entreprises pour qu'ils puissent gérer plus efficacement les ressources.

Créer de nouvelles formes d'organisation sociale

En permettant la construction de bâtiments intelligents, en les connectant les uns avec les autres et à un réseau intelligent, et en facilitant une planification communautaire informée, les TIC peuvent contribuer à bâtir des collectivités connectées et durables. Les bâtiments intelligents interconnectés peuvent communiquer entre eux et avec d'autres objets intelligents, comme les voitures électriques, et ils pourraient éventuellement être intégrés au réseau intelligent grâce aux technologies solaires ou éoliennes.

Surmonter les difficultés législatives, comportementales, technologiques et financières

Des obstacles importants entravent la mise en œuvre et l'adoption d'applications prometteuses des TIC. S'ils souhaitent utiliser les TIC pour atteindre des objectifs environnementaux et socioéconomiques, les décideurs devront tenir compte des facteurs sociaux et économiques en plus des facteurs technologiques. Une approche intégrée pour aplanir les difficultés et élaborer des solutions sera requise afin d'exploiter pleinement le potentiel transformateur des TIC.

OBSERVATIONS FINALES

Les TIC sont plus que de simples gadgets servant à divertir les gens. Les TIC sont les dispositifs, les systèmes et les plateformes qui transforment la façon dont les gens vivent, travaillent et communiquent. Les applications interconnectées des TIC laissent entrevoir le potentiel de faciliter à la fois de modestes progrès et d'impressionnants bonds en avant sur la voie de la durabilité. Les petits changements réalisables à court terme peuvent avoir un impact cumulatif non négligeable sur la performance environnementale du Canada : ils pourraient même contribuer à mettre le Canada sur la piste d'un changement transformateur. Pour exploiter les occasions qui s'offrent de créer des débouchés économiques substantiels et solutionner des problèmes environnementaux et sociaux urgents, le Canada doit miser sur ses forces et ses capacités liées aux TIC. Les avantages sur le plan de la durabilité que pourraient offrir les TIC sont à la portée du Canada s'il parvient à *repenser* les TIC, à *connecter* et à *habiliter* les Canadiens, à *créer* de nouvelles formes d'organisation sociale, et à *surmonter* les défis présents.

Table des matière

1 Introduction 1
1.1 Au sujet de cette évaluation 4
1.2 Comprendre et exécuter le mandat confié au comité d'experts 5
1.3 L'approche du comité d'experts : portée, preuve et cadre 6
1.4 Structure du rapport 8

2 Données de référence et contexte canadien 11
2.1 Les trois dimensions de la durabilité 12
2.2 Le lien entre les TIC et la durabilité 15
2.3 La capacité du Canada de soutenir l'utilisation et le développement des TIC dans l'optique de la durabilité 19
2.4 Comment les TIC influent sur la vie des Canadiens 24
2.5 Conclusion 28

3 Plateforme habilitante pour un Canada durable et interconnecté 29
3.1 Appareils destinés à l'utilisateur final 32
3.2 Données 34
3.3 Applications et analytique de données 35
3.4 Télécommunications, stockage et infrastructure de traitement 37
3.5 Capteurs et systèmes de contrôle 41
3.6 Coût environnemental des TIC 44
3.7 Miser sur les atouts canadiens 47
3.8 Conclusion 50

4 Possibilités interconnectées issues des TIC concourant à la durabilité 51
4.1 Surveillance de l'environnement 58
4.2 Services publics intelligents interconnectés 68
4.3 Bâtiments et voisinages intelligents interconnectés 82
4.4 Mobilité intelligente interconnectée 93
4.5 Production intelligente interconnectée 107
4.6 Des gens en santé et des collectivités dynamiques 115
4.7 Conclusion 125

5 Relever les défis 127
5.1 Faciliter l'adoption et l'innovation dans les entreprises et l'industrie 129
5.2 Normes et accès aux données 138
5.3 Enseignement et compétences intégrés aux TIC 147
5.4 Faciliter l'acceptation sociale et institutionnelle 151
5.5 Perspectives sur le cycle de vie 162
5.6 Connectivité au service à large bande 166
5.7 Conclusion : Une approche intégrée des solutions 169

6 Conclusions 172
6.1 Répondre au mandat 173
6.2 La voie à suivre 178
6.3 Observations finales 183

Glossaire 184

Références 187

1

Introduction

- Au sujet de cette évaluation
- Comprendre et exécuter le mandat confié au comité d'experts
- L'approche du comité d'experts : portée, preuve et cadre
- Structure du rapport

1 Introduction

Un jour dans la vie

Il est 05:20 (HNP) à Vancouver, en Colombie-Britannique, un mercredi matin en 2025. Dans trois minutes, Deena s'éveillera et commencera sa journée. Tout au long de la nuit, l'ordinateur de la maison de Deena et ceux de la ville ont géré l'utilisation des ressources et contribué à en maximiser l'efficience. À son réveil, Deena entrera en interaction avec ces systèmes beaucoup plus directement que la plupart des gens. Dans son travail, elle est gestionnaire de réseau intelligent.

Fournir l'énergie à une ville comme Vancouver n'est pas facile. Une population croissante et des ressources naturelles qui vont en diminuant ont fait surgir des défis importants. Plusieurs des solutions requises pour assurer la durabilité de la vie urbaine proviennent du secteur des technologies de l'information vertes.

Deena, à la maison

05:23 (HNP)

Le réveille-matin de Deena la tire de son sommeil lorsque les capteurs disposés dans son matelas détectent qu'elle est au point le plus propice dans son cycle de sommeil. Grâce aux données captées sur ses mouvements et la température de son corps, les lumières de la pièce sont devenues progressivement plus brillantes. Lorsque son réveille-matin sonne, elle est déjà presque éveillée. Elle se brosse les dents avec une pâte qui ne requiert pas d'eau ou de rinçage — une pratique maintenant presque universelle. En même temps, un affichage intégré au miroir lui présente des données en temps réel sur la circulation en lui suggérant plusieurs trajets pour se rendre au travail en voiture et par le transport en commun. Le transport en commun est presque toujours plus rapide, mais en raison d'une congestion inhabituelle, l'ordinateur lui recommande de faire le trajet dans la voiture de Ray, un collègue de travail.

Lorsque Deena est informée que Ray s'approche, elle se rend au bord de la rue et, 15 secondes plus tard, monte dans sa voiture. Ray souhaite arriver tôt au travail parce que le prix de l'énergie est moins élevé à cette heure de la journée, ce qui lui permet de recharger son véhicule à moindre coût. Deena veut aussi arriver tôt au travail parce qu'elle doit participer à une vidéoconférence pour laquelle elle a besoin d'avoir accès à la connexion sécurisée de l'édifice. Pour de nombreuses tâches courantes, elle peut travailler de la maison.

suite à la page suivante

Deena, au travail

06:25 (HNP)

Deena entre dans son bureau, qui a maintenant atteint la température, le degré d'humidité et le niveau d'éclairage qu'elle préfère. L'écran d'ordinateur de l'entreprise affiche des graphiques sur les niveaux agrégés d'efficience énergétique, de productivité et de satisfaction au travail. Tous révèlent une tendance à la hausse depuis quelque temps. Avant de préparer les documents pour sa vidéoconférence, Deena examine son profil personnel et note qu'elle est presque admissible à une remise fiscale supplémentaire en raison de sa faible utilisation d'énergie à la maison durant le dernier trimestre. Le fait d'être une spécialiste en énergie a ses avantages; les incitatifs à l'efficience sont nombreux et souvent assez substantiels.

10:00 (HNP)

Plus tard, Deena étudie les statistiques de l'application mobile qu'elle a récemment commandée. L'application suit l'évolution d'une activité de plus en plus répandue : l'utilisation d'appareils pour en charger d'autres. Bien que cette pratique soit presque sans conséquence, elle contourne les programmes qui surveillent la quantité de courant consommée par les divers appareils mobiles que l'on trouve habituellement dans une maison. L'application de Deena représente un effort pour retrouver la précision nécessaire au fonctionnement du système de surveillance.

Malheureusement, cette application n'a pas encore été largement adoptée. Pour remédier à cela, Deena demande au service d'analytique d'organiser une rencontre avec des experts en comportement humain. L'expérience a démontré que la recherche sur les attitudes et les habitudes des consommateurs d'électricité aboutit à des stratégies de conception plus efficaces. Réfléchissant à nouveau à sa journée, elle constate que son fils Quinn est entre deux cours et elle vérifie s'il est en ligne. Elle lui envoie un message pour organiser une vidéoconférence.

Vidéoconférence au déjeuner

12:30 (HNP), Vancouver / 14:30 (HNC), Regina

Deena a réservé une salle de conférence inutilisée pendant le déjeuner. Elle ouvre une session dans le système de vidéoconférence et attend que son fils Quinn, qui est en troisième année à l'Université de Regina, fasse de même, à l'autre bout.

Quinn ouvre une session; l'image saisissante de l'affichage en 3D sans lunettes lui donne l'impression qu'il est dans la pièce avec Deena. Bien que Quinn dispose des mêmes fonctionnalités, il opte pour une image en 2D parce qu'il trouve que le réalisme amplifié est une cause de distraction. Ils discutent de travail, d'école et (à contrecœur) de la vie sentimentale de Quinn.

suite à la page suivante

Espérant changer de sujet, Quinn s'enthousiasme sur l'exposé auquel il vient d'assister et il évoque la possibilité de modifier son programme de cours pour y inclure un certificat dans le secteur de la santé. Aussi heureuse qu'elle ait été de voir son fils suivre la vocation qu'elle a choisie, Deena constate qu'elle est encore plus fière de le voir chercher lui-même son propre cheminement. En passant, elle mentionne que l'Université Simon Fraser offre un programme d'études supérieures en durabilité et en santé hautement prestigieux.

1.1 AU SUJET DE CETTE ÉVALUATION

Les Canadiens sont au seuil d'un changement fondamental et transformateur : une puissante convergence des sciences et des technologies de l'information (capacité de calcul numérique) et du monde matériel. Ce changement offre le potentiel de guider le Canada vers la durabilité en l'aidant à apporter des améliorations sur les plans de la santé, de l'environnement, de la prospérité économique et du bien-être social.

La société poursuit sa progression vers une connectivité de plus en plus universelle. Tout ce qui peut être connecté à la bande passante à haute vitesse a le potentiel d'être intelligent, et les objets intelligents ne se retrouvent plus uniquement dans ce que l'on concevait jusqu'à maintenant comme des technologies. Plutôt que de voir les technologies comme des ensembles isolés d'artéfacts matériels, il est plus utile de les considérer comme des systèmes techniques, politiques, sociaux et économiques interconnectés.

Les technologies de l'information et des communications (TIC) jouent un rôle essentiel dans l'intégration des systèmes, renforçant la capacité de s'adapter et de réagir avec souplesse à l'incertitude inhérente aux défis environnementaux, aux structures sociales et aux interactions entre les humains et la technologie. Les TIC pourraient éventuellement améliorer la prestation des services de tous genres et l'efficience avec laquelle les Canadiens utilisent l'énergie, l'eau et les matières, atténuant du même coup les effets sur l'environnement.

L'autonomisation des gens, tant comme consommateurs que comme décideurs sociaux, est essentielle à la réalisation des avantages des TIC sur le plan de la durabilité. Libérer leur potentiel nécessite la conception, la sélection et la mise en œuvre rapides et réussies d'applications contextuelles reposant sur les TIC dans toutes les régions et tous les secteurs au Canada.

1.2 COMPRENDRE ET EXÉCUTER LE MANDAT CONFIÉ AU COMITÉ D'EXPERTS

En 2011, au nom d'Environnement Canada (le commanditaire), le ministre de l'Environnement a demandé au Conseil des académies canadiennes (CAC) de former un comité d'experts pour faire une évaluation de la question suivante :

> *Quelles occasions existantes ou potentielles nous permettraient d'exploiter les technologies de l'information et des communications (les TIC) de sorte à écologiser le Canada?*

En outre, le commanditaire a articulé les sous-questions suivantes :

- *Quelle est la capacité du Canada dans le secteur des technologies vertes fondées sur les TIC et quels sont les domaines où les Canadiens montrent à l'heure actuelle des points forts et des faiblesses dans les segments les plus pertinents de l'économie?*
- *Quels sont les possibilités, les obstacles et les défis, au Canada et à l'étranger, liés à l'utilisation des progrès scientifiques et technologiques actuels et émergents pour favoriser l'écologisation?*
- *Quelles sont les meilleures pratiques au niveau international, y compris les cadres de politique, sur l'utilisation de la science et de la technologie (S-T) liée aux TIC pour « écologiser » la prestation des biens et services et les infrastructures connexes dont la société a besoin?*
- *Quels sont les écarts dans les connaissances et les meilleures pratiques pour l'élaboration et l'application de technologies vertes fondées sur les TIC au Canada?*

Pour exécuter ce mandat, le CAC a créé un comité formé d'experts nationaux et internationaux possédant des antécédents en développement durable, en sciences de l'environnement, en sciences informatiques, en économique, en génie et en politiques. Les membres du comité proviennent des secteurs universitaire, gouvernemental et privé. Sur une période de 16 mois, le comité d'experts a tenu cinq réunions (quatre en personne et une par téléprésence), outre plusieurs téléconférences.

1.2.1 Définir la durabilité

Au début du processus d'évaluation, le comité d'experts a rencontré des représentants d'Environnement Canada pour valider sa compréhension détaillée du mandat. À ce moment, le commanditaire a précisé que le terme *écologisation* pourrait englober toutes les dimensions de la durabilité. L'emploi du terme durabilité pour décrire les progrès humains a été largement accepté après que la Commission Brundtland ait introduit le concept du développement durable en 1987 (CMED, 1987). La définition a évolué depuis ce temps. Il est aujourd'hui reconnu que la durabilité repose sur trois dimensions d'égale importance,

souvent appelées les piliers de la durabilité : l'environnement, l'économie et le bien-être social. Aux fins du présent rapport, la *durabilité* se définit comme étant les améliorations au niveau de l'environnement, de l'économie et du bien-être social. Par conséquent, le comité d'experts considère que les occasions qui pourraient engendrer des avantages sociaux, par exemple une amélioration de la santé ou de la qualité de vie, sont pertinentes à son mandat.

1.2.2 Définir les TIC

Les *TIC*, ou les *systèmes de TIC*, recouvrent une gamme étendue d'appareils, d'infrastructures et d'applications qui ont transformé de façon radicale la vie quotidienne des Canadiens ces dernières décennies. L'UNESCO (2007) a défini les TIC comme étant les « formes de technologies qui sont utilisées pour la transmission, le traitement, le stockage, la création, l'affichage, le partage ou l'échange d'informations par des moyens électroniques ». Cette définition englobe non seulement les technologies matérielles telles que les ordinateurs, les capteurs et le matériel de réseau, mais aussi les logiciels intégrés aux appareils et les services et l'équipement de soutien nécessaires.

1.3 L'APPROCHE DU COMITÉ D'EXPERTS : PORTÉE, PREUVE ET CADRE

Le comité d'experts a cherché des données illustrant l'utilisation des TIC pour faciliter l'atteinte des objectifs de durabilité au Canada et à l'étranger. Afin de rendre le rapport accessible à un large public, le comité d'experts a utilisé un style exempt de tout jargon et démontré comment les TIC peuvent avoir un impact positif sur leur vie quotidienne, plutôt que d'offrir des données techniques détaillées sur des TIC particulières. Le comité d'experts a retenu six domaines thématiques clés permettant d'illustrer les avantages potentiels de l'utilisation d'applications des TIC interconnectées :

- la surveillance de l'environnement;
- des services publics intelligents interconnectés;
- des bâtiments et des voisinages intelligents interconnectés;
- la mobilité intelligente interconnectée;
- la production intelligente interconnectée;
- des gens en santé et des collectivités dynamiques.

Ces domaines thématiques ont été choisis parce qu'ils sont directement liés aux activités quotidiennes des Canadiens et qu'ils recèlent des occasions importantes de faire profiter les trois piliers de la durabilité des avantages des TIC. Le comité d'experts a relevé l'existence de nombreux autres éléments positifs des TIC susceptibles de renforcer la durabilité mais qui sortent du cadre de la présente évaluation.

Afin d'élargir encore l'accessibilité du rapport, le comité d'experts a choisi d'inclure de brefs récits fictifs illustrant comment les TIC pourraient améliorer la vie quotidienne des Canadiens dans un avenir rapproché. Ces récits apparaissent dans des encadrés verts tout au long du rapport. L'accent mis sur les gens est important et voulu parce que les possibilités offertes par les TIC ne sauraient se concrétiser si les gens ne choisissent pas de développer, de mettre en application et d'utiliser les TIC.

De nombreuses technologies examinées dans le rapport proviennent de l'industrie ou sont si récentes qu'il y a peu de documentation revue par les pairs à leur sujet. Dans certains cas, le comité d'experts a examiné de la littérature grise non revue par les pairs provenant d'associations industrielles, d'organismes à but non lucratif et d'organisations internationales crédibles (comme l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et la Global e-Sustainability Initiative (GeSI)). Dans d'autres cas, les documents proviennent de publications soumises à l'examen des pairs.

Le comité d'experts était d'avis qu'outre l'analyse des possibilités prometteuses offertes par les TIC, il importe de prendre en considération les aspects pertinents des contextes environnemental, économique et social du Canada, y compris ceux liés à l'industrie des TIC, à l'enseignement des TIC et à la façon dont les Canadiens utilisent la technologie. Le comité d'experts a aussi présenté les éléments techniques clés des applications axées sur la durabilité et examiné les occasions d'améliorer la performance environnementale de ces technologies.

Dans son analyse des possibilités offertes par les TIC, le comité d'experts a repéré plusieurs défis communs qui pourraient entraver l'élaboration, l'adoption et l'exploitation fructueuses de ces possibilités. Ces défis sont examinés en profondeur, de même que plusieurs solutions pouvant contribuer à les surmonter. De plus, le comité d'experts a mis en relief plusieurs pratiques prometteuses provenant du Canada et de l'étranger qui pourraient aider à saisir pleinement les avantages liés aux possibilités offertes par les TIC.

Plusieurs possibilités identifiées par le comité d'experts pourraient reposer sur les avantages concrets qu'elles procurent aux particuliers, aux entreprises ou aux gouvernements, à court terme. Lorsque ces avantages sont moins apparents dans l'immédiat, des politiques ou des programmes ciblés pourraient s'avérer nécessaires pour encourager leur adoption. Les écarts au niveau des coûts et des avantages à court et à long terme peuvent être importants parce que les coûts sont spécifiques et concentrés, tandis que les rendements sociaux sont diffus. Dans certains cas, les bailleurs de fonds d'une technologie peuvent ne pas en récolter les fruits.

1.4 STRUCTURE DU RAPPORT

L'approche adoptée par le comité d'experts pour s'acquitter de son mandat est illustrée dans la feuille de route du rapport (voir la figure 1.1). À la base de cette feuille de route se trouvent les diverses composantes techniques de la *plateforme des TIC* qui, collectivement, constituent le fondement des possibilités étudiées dans le rapport. S'appuyant sur cette plateforme, on retrouve les *applications interconnectées des TIC* provenant des six domaines thématiques clés choisis pour démontrer comment ces applications pourraient avoir un impact positif sur la durabilité au Canada. Au-dessus de ces six domaines thématiques clés, on retrouve les *défis*, c'est-à-dire les facteurs qui pourraient entraver l'adoption réussie des possibilités offertes par les TIC. Au sommet de la feuille se trouvent les *solutions*, qui représentent des approches ciblées pour aider à surmonter ces défis.

Le corps du rapport est réparti entre les sections suivantes :

- **Données de référence et contexte :** Le chapitre 2 fournit des renseignements généraux sur la durabilité et les TIC au Canada et présente un aperçu de la capacité actuelle du secteur canadien des TIC.
- **Plateforme des TIC :** Le chapitre 3 décrit la plateforme des TIC pour un Canada durable, il définit les éléments techniques clés et il analyse leur impact sur l'environnement. Le chapitre examine ensuite des façons d'aider à atténuer cet impact.
- **Applications des TIC interconnectées :** Le chapitre 4 présente un éventail d'applications des TIC interconnectées qui pourraient être mises à contribution pour faire avancer le Canada sur la voie de la durabilité. Il décrit ces possibilités à travers la lentille de six domaines thématiques choisis par le comité d'experts. Élément important, certaines possibilités sont examinées sous plusieurs thèmes, ce qui illustre le fait que de nombreuses TIC peuvent offrir de multiples avantages lorsqu'elles sont appliquées de façons différentes. Le chapitre recense également certains défis communs qui pourraient entraver la réalisation des possibilités décrites.
- **Défis et solutions :** Le chapitre 5 explore plus en détail les défis que soulèvent le développement, l'adoption et l'utilisation des applications des TIC interconnectées au Canada, puis propose des solutions qui pourraient aider à surmonter ces défis. Les solutions sont regroupées en six catégories : faciliter l'adoption des possibilités offertes par les TIC dans les entreprises et l'industrie et l'innovation connexe; les normes et l'accès aux données; l'enseignement et les compétences intégrés aux TIC; faciliter l'acceptation sociale et institutionnelle; perspectives sur le cycle de vie; connectivité à large bande. Pour chaque catégorie, le comité d'experts décrit les options qui s'offrent au Canada et il présente des exemples de pratiques prometteuses actuelles et émergentes, au pays et à l'étranger.

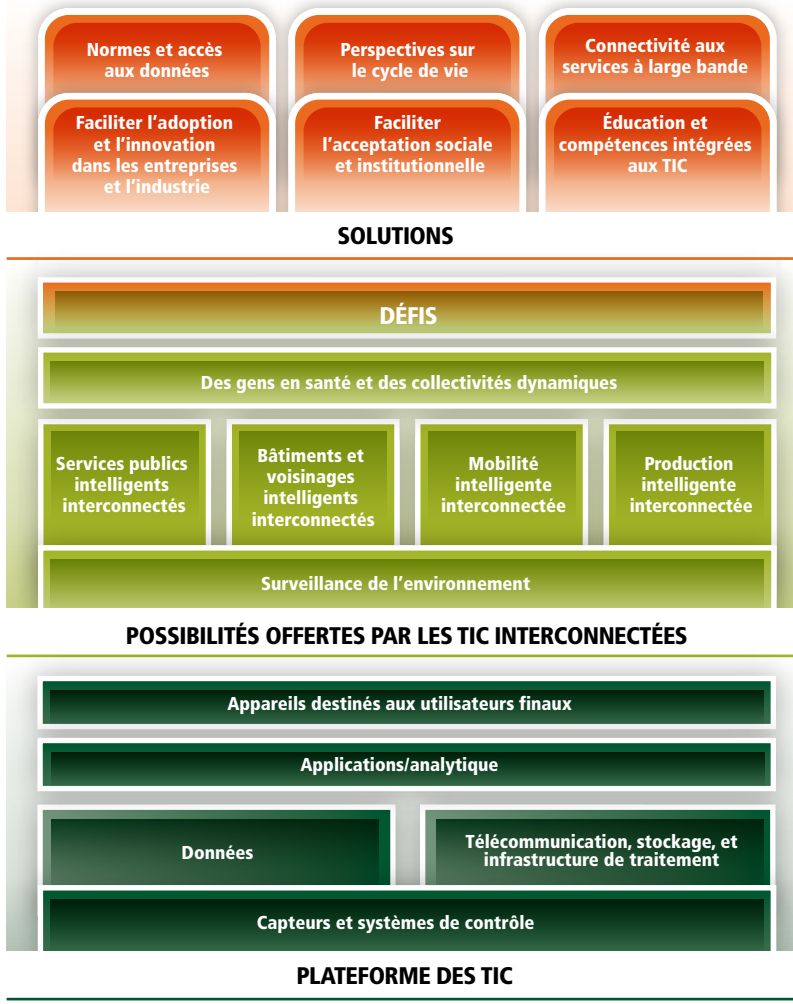


Figure 1.1

Feuille de route du rapport : vers un Canada durable grâce aux TIC

Le rapport débute par une analyse de la plateforme des TIC qui sert de base à l'application des TIC pour aider à atteindre la durabilité. Les avantages les plus importants peuvent être obtenus lorsque les composantes de la plateforme des TIC sont intégrées dans un système complémentaire. Sur cette base, on retrouve les possibilités des TIC interconnectées qui utilisent la plateforme des TIC pour produire des avantages environnementaux, économiques et sociaux. Le comité d'experts a opté pour présenter ces possibilités en six domaines thématiques clés : surveillance de l'environnement; services publics intelligents interconnectés; bâtiments et voisinages intelligents interconnectés; mobilité intelligente interconnectée; production intelligente interconnectée; des gens en santé et des collectivités dynamiques. La partie supérieure de la feuille de route présente certaines solutions ciblées pour aider à surmonter ces défis afin d'assurer une exploitation réussie des possibilités offertes par les TIC interconnectées.

- **Conclusions :** Le chapitre 6 synthétise les observations présentées dans les chapitres précédents et résume les réponses du comité d'experts aux questions posées dans son mandat. Il renferme aussi une analyse des étapes qui pourraient marquer le cheminement vers la pleine concrétisation des avantages et des possibilités liées aux TIC.

Trois types d'encadrés sont utilisés dans le rapport à l'appui du texte principal :

- **Les encadrés verts** renferment des *récits fictifs* sur différentes personnes au Canada pour illustrer comment les applications de TIC pourraient avoir un impact positif sur la durabilité au pays dans un avenir rapproché. Dans bien des cas, les récits traitent de technologies déjà disponibles.
- **Les encadrés gris** renferment des *renseignements* ou des *exemples* en complément du texte principal.
- **Les encadrés orangés** présentent des *pratiques prometteuses* provenant du Canada et d'ailleurs dans le monde.

Le rapport du comité d'experts représente un instantané des possibilités offertes par les TIC qui pourraient être mises à contribution dès maintenant pour aider à faire progresser le Canada vers la durabilité. Mais, ce qui est plus important, il traite de ce qui est nécessaire pour assurer la mise en œuvre réussie de solutions fondées sur les TIC en vue d'atteindre la durabilité, et il renferme des critères généraux pour établir les possibilités futures des TIC qui seraient le plus profitables pour le Canada. Les TIC peuvent aider le Canada à relever les nombreux défis environnementaux, économiques et sociaux auxquels il est confronté et assurer au pays un avenir durable.

2

Données de référence et contexte canadien

- Les trois dimensions de la durabilité
- Le lien entre les TIC et la durabilité
- La capacité du Canada de soutenir l'utilisation et le développement des TIC dans l'optique de la durabilité
- Comment les TIC influent sur la vie des Canadiens
- Conclusion

2 Données de référence et contexte canadien

Ce chapitre présente un aperçu des données de référence et des facteurs contextuels nécessaires à la compréhension de l'approche suivie par le comité d'experts afin de repérer les possibilités offertes par les TIC pour parvenir à la durabilité, ainsi que les défis et les solutions connexes. Les sujets abordés englobent les trois dimensions de la durabilité (et la performance actuelle du Canada sur le plan environnemental); la manière dont les TIC peuvent concourir à la durabilité; la capacité du Canada de développer, d'adopter et d'utiliser des applications des TIC; et certaines des façons dont les TIC influent sur la vie des Canadiens.

2.1 LES TROIS DIMENSIONS DE LA DURABILITÉ

La performance du Canada au chapitre de la durabilité fait intervenir des considérations environnementales, économiques et sociales. Cette section présente brièvement des éléments des trois dimensions ainsi que des renseignements supplémentaires sur la performance environnementale actuelle du Canada. Dans l'analyse qui suit, les dimensions économiques et sociales ont été fusionnées parce qu'un examen détaillé de la performance économique et sociale du Canada sortirait du cadre de la présente évaluation.

2.1.1 Les considérations environnementales au Canada

La salubrité de l'environnement a une importance primordiale pour l'avenir du Canada et il importe d'examiner de façon prioritaire les questions environnementales. Le changement climatique revêt une importance particulière en raison de l'ampleur et du caractère imprévisible de son impact. Une nette majorité de Canadiens sont préoccupés par les effets du changement climatique (The Environics Institute, 2012). D'autres problèmes environnementaux requièrent aussi notre attention si nous voulons que le Canada améliore ou préserve un environnement sain. La qualité de l'air et de l'eau, la quantité d'eau douce, la réduction des déchets et la biodiversité sont des domaines où les applications des TIC pourraient avoir une incidence positive (voir le chapitre 4). Cependant, l'examen qui suit met l'accent sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) en raison de leur importance pour les trois dimensions de la durabilité au Canada, de même que sur les nombreuses possibilités que les TIC peuvent offrir pour atténuer ces émissions.

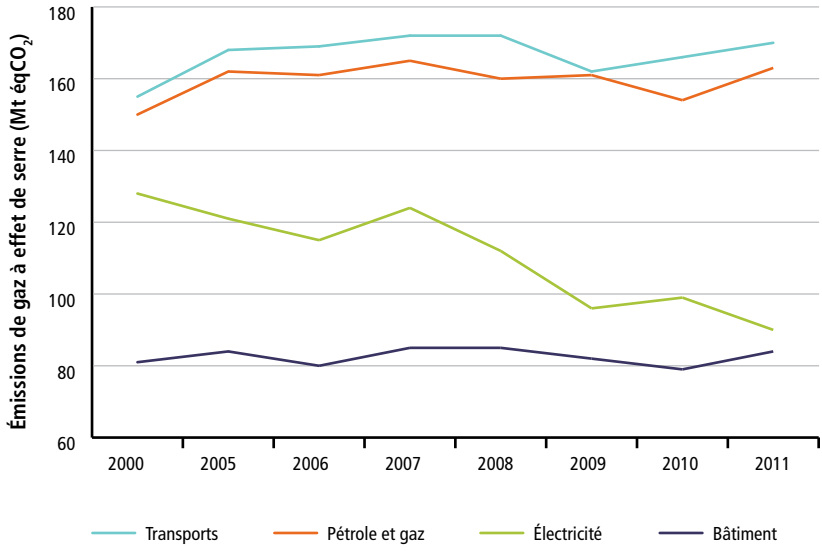
La performance environnementale du Canada pourrait être améliorée sous divers aspects. Dans sa plus récente évaluation annuelle du Canada par rapport à 16 pays comparables, le Conference Board du Canada a attribué au Canada un faible score pour plusieurs indicateurs environnementaux clés, y compris

l'intensité énergétique, les émissions totales de GES, la production de déchets municipaux et les prélèvements d'eau, entre autres (Conference Board du Canada, 2013b). Cette performance se compare au classement attribué au Canada par d'autres sources. Ainsi, le Canada est l'un des plus grands émetteurs de GES par habitant dans le monde selon la GeSI, une organisation industrielle qui représente au-delà d'une trentaine des plus importants fournisseurs mondiaux de produits et services des TIC (GeSI, 2012). En 2011, les émissions totales de GES du Canada ont atteint 702 millions de tonnes de CO_2 (Mt éqCO_2) (soit 20,1 tonnes d'émissions d'équivalent-CO_2 par personne). Cela équivaut à près de 2 % des émissions mondiales, malgré le fait que le Canada ne compte qu'environ 0,5 % de la population mondiale (Environnement Canada, 2013c; Banque mondiale, 2013c). Selon les estimations, en tenant compte des mesures prises par les administrations fédérales, provinciales et municipales, les émissions canadiennes de GES devraient totaliser 734 Mt éqCO_2 d'ici 2020 (Environnement Canada, 2013c). Cette estimation demeure sensiblement plus élevée que l'objectif du Canada d'abaisser ses émissions à 607 Mt éqCO_2 d'ici 2020, énoncé dans l'Accord de Copenhague (Environnement Canada, 2010, 2012).

Au niveau sectoriel, ce sont les transports qui contribuent le plus aux émissions de GES, suivis du pétrole et du gaz (production, transmission, transformation, raffinage et distribution), de l'électricité et des bâtiments[1] (Environnement Canada, 2013c) (voir la figure 2.1). L'électricité est le seul secteur dont les émissions ont fléchi de façon significative entre 2005 et 2011, les baisses résultant de l'intégration de sources d'énergie plus propres (p. ex. le remplacement du charbon) (Environnement Canada, 2013c). Bien que l'efficience des véhicules et des bâtiments se soit améliorée sur la période, l'augmentation de la taille de ces secteurs (le nombre total de véhicules et de bâtiments) a fait en sorte qu'il n'y a pas eu de baisse nette importante de leurs émissions totales de GES.

Les effets du changement climatique se font déjà sentir et posent de sérieux défis pour le Canada. Pour y faire face, les collectivités canadiennes devront s'adapter à l'incertitude liée au changement climatique. L'adaptation est donc un volet important de la durabilité. L'adaptation proactive au changement climatique est définie par le ministère des Affaires autochtones et du Développement du Nord Canada comme étant « un processus décisionnel à long terme qui nous permettra de mieux composer avec le changement climatique à venir. Cette approche est la plus efficace puisqu'elle comporte des stratégies de gestion du risque et des évaluations périodiques » (AADNC, 2010).

1 Au moment de la publication du présent rapport, Environnement Canada a publié le *Rapport d'inventaire national 1990-2010 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada – Sommaire*, qui révélait que le secteur du pétrole et du gaz devance maintenant légèrement celui du transport en termes d'émissions de GES.



Sources des données : Environnement Canada, 2012

Figure 2.1

Émissions de gaz à effet de serre des principaux secteurs émetteurs au Canada, 2000–2011

Émissions des gaz à effet de serre dans les secteurs des transports, du pétrole et du gaz, de l'électricité et du bâtiment au Canada, de 2000 à 2011. Seules les émissions du secteur de l'électricité ont changé de façon significative au cours de la période, diminuant d'environ 30 Mt éqCO_2.

2.1.2 Considérations économiques et sociales

Il est de plus en plus reconnu que l'environnement et l'économie sont étroitement liés (p. ex. Stern, 2006; Runnalls, 2011; PNUE, 2011). Il y a eu des tentatives pour quantifier les coûts économiques de la dégradation de l'environnement, mais il importe de noter qu'il est très difficile d'établir des valeurs monétaires exactes. La *Stern Review*, produite pour le gouvernement du Royaume-Uni par l'économiste Nicholas Stern, analyse l'impact économique potentiel du changement climatique :

> En utilisant les résultats de modèles économiques formels, la *Stern Review* a estimé que si nous n'agissons pas, les coûts et les risques globaux du changement climatique équivaudront à une perte d'au moins 5 % du PIB mondial à chaque année, maintenant et pour toujours. Si une gamme plus étendue de risques et d'effets est prise en compte, les estimations des dommages pourraient atteindre 20 % du PIB, voire davantage. [Traduction]
>
> (Stern, 2006)

La *Stern Review* soulignait en outre que la réponse au changement climatique nécessiterait une résilience accrue tout en réduisant au minimum les dépenses pour protéger à la fois la société et l'économie. De plus, selon Stern (2006), « les coûts de la stabilisation du climat sont importants mais à notre portée » et « tout délai serait dangereux et beaucoup plus coûteux ». [Traduction]

Des initiatives environnementales pourraient engendrer des avantages économiques. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) affirme qu'il est possible de récolter des avantages économiques et sociaux en évoluant vers une *économie verte*, où l'augmentation des revenus et la croissance de l'emploi dépendent des investissements faits pour réduire les émissions de GES et la pollution (PNUE, 2011). Le PNUE (2010) décrit l'économie verte comme étant une économie qui mène à « l'amélioration du bien-être humain et de l'équité sociale, accompagnée d'une réduction significative des risques pour l'environnement et des pénuries écologiques ». Certaines industries canadiennes profitent déjà du potentiel économique des technologies émergentes pour faire face aux changements environnementaux. Ainsi, en 2011, le Canada arrivait au sixième rang dans le monde quant au nombre de brevets déposés pour des technologies liées à l'atténuation du changement climatique (y compris, mais sans s'y limiter, des applications axées sur les TIC) (OCDE, s.d.).

D'autres indicateurs sociaux et économiques clés témoignent de la feuille de route du Canada au chapitre de la durabilité. Bien qu'il y ait un certain chevauchement entre ces dimensions, les exemples d'indicateurs économiques englobent le produit intérieur brut (PIB), la productivité, l'endettement et le taux d'emploi; par ailleurs, les indicateurs sociaux comprennent l'incidence de la pauvreté, l'espérance de vie, le bonheur et la participation civique.

2.2 LE LIEN ENTRE LES TIC ET LA DURABILITÉ

2.2.1 Que signifie la durabilité?

Même si le maintien et l'amélioration de la salubrité de l'environnement sont l'un des principaux défis auxquels le Canada est confronté aujourd'hui, la prospérité économique et le bien-être social sont tout aussi importants pour assurer un avenir durable. Ces trois dimensions ne peuvent être envisagées isolément parce que la durabilité dépend de leur intégration équilibrée.

La définition du gouvernement fédéral de la durabilité correspond à cette approche holistique. Selon la *Loi fédérale sur la durabilité,* « Le gouvernement du Canada souscrit au principe fondamental selon lequel la durabilité est fondée sur l'utilisation écologiquement rationnelle des ressources naturelles, sociales et économiques et reconnaît la nécessité de prendre ses décisions en tenant

compte des facteurs environnementaux, économiques et sociaux » (Ministre de la Justice, 2013). Bref, la stabilité économique ne peut être atteinte sans un environnement sain et une population jouissant d'une bonne qualité de vie, tout comme les décisions en matière d'environnement prises pour assurer la durabilité doivent tenir compte des volets économiques et sociaux. Par conséquent, les décisions concernant une dimension de la durabilité doivent prendre en compte les deux autres dimensions.

2.2.2 Comment les TIC peuvent-elles amener le Canada sur la voie de la durabilité?

Les possibilités liées aux TIC montrent un grand potentiel pour aider le Canada à progresser vers la durabilité. Les TIC s'intègrent rapidement à tous les aspects de la vie quotidienne, opérant par le biais non seulement des appareils traditionnellement considérés comme étant de nature technologique (comme les ordinateurs, les téléphones et les tablettes), mais de tous les objets avec lesquels les gens sont en interaction (comme les voitures, les bâtiments et les électroménagers). Le secteur des TIC a la capacité de promouvoir l'innovation, où d'importants changements peuvent survenir. La plupart des maisons, des entreprises et des organismes du secteur public ajoutent des TIC à leurs opérations et activités, permettant à ces technologies d'engendrer des avantages environnementaux, économiques ou sociaux. Les TIC offrent des possibilités de communication entre les personnes, entre les objets et les personnes et entre les objets eux-mêmes. Dans ce monde émergent de systèmes sociotechniques complexes, les TIC peuvent concourir à la durabilité et la renforcer.

De nombreuses solutions facilitées par les TIC ont déjà permis d'améliorer la performance environnementale du Canada, par exemple les innovations réduisent la consommation d'énergie, surveillent l'environnement ou augmentent l'efficience des véhicules (voir le chapitre 4). Les TIC ont également contribué à améliorer considérablement l'efficience énergétique des bâtiments, ce qui s'est traduit par une baisse de leurs émissions de GES par habitant au Canada (GeSI, 2012; Environnement Canada, 2013c). Les TIC ont changé la façon dont l'eau et l'électricité sont livrées aux consommateurs, permettant l'utilisation de la cartographie pour élaborer et faire le suivi de nouveaux programmes de conservation, des compteurs intelligents pour éduquer les consommateurs sur leur consommation d'électricité ou d'eau, ainsi que des capteurs permettant de surveiller les systèmes de livraison et de garantir une efficience optimale.

Aspect important, les TIC peuvent faciliter des changements graduels tout comme des bonds en avant vers la durabilité. Les changements importants peuvent transformer le comportement des gouvernements, de l'industrie et des personnes. Les changements plus restreints mis en œuvre à court terme peuvent avoir un effet cumulatif important sur la performance environnementale du Canada à plus long terme, et tracent souvent la voie menant à des changements transformationnels

Avantages environnementaux directs : l'écologisation des TIC

Les TIC ont leur propre empreinte environnementale : leur production, leur transport, leur utilisation et leur élimination produisent des émissions de GES; leur production entraîne aussi des déchets matériels, tandis que leur élimination engendre des déchets électroniques.

La performance environnementale des TIC s'est toutefois améliorée au fil des ans, alors que la taille des appareils a diminué progressivement et que ceux-ci ont acquis une plus grande efficience énergétique (GeSI, 2012). Il y a aussi un potentiel supplémentaire d'amélioration de la conception, de la production, de la distribution, de l'entretien et de l'élimination des produits et services liés aux TIC (écologisation des TIC) (OCDE, 2009b). Ces possibilités sont également considérées comme étant de nature directe parce que les avantages sur le plan de l'environnement proviennent de l'amélioration de la technologie elle-même.

Avantages environnementaux indirects : l'écologisation au moyen des TIC

Les possibilités indirectes issues de l'application et de l'utilisation des TIC sont plus importantes que les possibilités directes pour atteindre la durabilité. Les avantages potentiels d'une écologisation *au moyen* des TIC sur les plans environnemental, économique et social sont beaucoup plus importants que l'impact sur l'environnement des TIC elles-mêmes (voir, par exemple, Ahola *et al.*, 2010; OCDE, 2010a; GeSI, 2012). Il peut s'agir de possibilités habilitantes, dont les avantages découlent de l'utilisation des applications des TIC, ou de possibilités systémiques, dont les avantages résultent de changements dans la structure sociale ou le comportement par suite de la disponibilité, de l'accessibilité, de l'application et de l'utilisation des TIC.

Ainsi, dans son rapport intitulé *SMARTer2020*, la GeSI prédit que l'écologisation par le biais de solutions fondées sur les TIC dans les secteurs des transports, de l'agriculture et de l'utilisation des terres, du bâtiment, de la fabrication, de l'énergie, de la consommation et des services pourrait contribuer à réduire les

émissions totales dans une proportion équivalant à sept fois celles provenant des TIC (GeSI, 2012). Le WWF (World Wildlife Fund au Canada et aux États-Unis et World Wildlife Fund for Nature ailleurs), une organisation non gouvernementale vouée à la conservation du milieu, voit aussi dans les TIC un moyen de réduire les émissions de GES au Canada et partout dans le monde (WWF-Suède, 2008; WWF-Canada, s.d.). Ainsi, WWF-Canada prédit que les émissions de GES au Canada pourraient être abaissées d'environ 20 Mt éqCO_2 par année à court terme en appliquant certains produits des TIC qui réduiraient les besoins de déplacements en voiture et en avion, numériserait des matières et améliorerait l'efficience des bâtiments et du transport commercial (WWF-Canada, s.d.). L'organisme prédit aussi qu'une application plus étendue de ces produits permettrait éventuellement une réduction de 36 Mt éqCO_2 par an des émissions de GES d'ici 2020.

En plus d'offrir des solutions pour relever les défis environnementaux, les TIC ont le potentiel d'améliorer le bien-être social, par exemple en accroissant l'accès aux connaissances et aux possibilités éducatives, en améliorant la prestation des soins et le suivi personnalisé de l'état de santé, et en ouvrant de nouvelles formes de participation et de gouvernance démocratiques en plus d'un confort accru (voir la section 4.6).

Plusieurs possibilités liées aux TIC comporteraient aussi des avantages économiques, y compris le potentiel de réduire les coûts pour les particuliers et les entreprises grâce à une amélioration de l'efficience et à une moins grande consommation d'énergie. Dans un rapport intitulé *Innovating Toward a Low-Carbon Canada*, WWF-Canada (s.d.) prédit que l'utilisation des TIC pour atteindre les objectifs à court terme qui y sont décrits entraînerait des économies annuelles estimées à plus de 7 milliards de dollars pour les entreprises, les gouvernements et les particuliers au Canada.

La capacité de faire évoluer le Canada sur les trois axes de la durabilité — environnemental, économique et social — est l'un des avantages des solutions reposant sur les TIC. En outre, les possibilités liées aux TIC tirent souvent parti de la technologie, de l'infrastructure, des données et du savoir déjà existants. Les capacités uniques que les TIC offrent déjà (p. ex. pour recueillir, stocker et transmettre facilement de grands volumes de données) peuvent être mises à contribution pour faire progresser le Canada vers des résultats positifs en matière de durabilité.

Les risques

L'introduction d'applications des TIC dans l'optique de la durabilité devrait tenir compte de leur interaction avec les trois piliers de la durabilité et de leur impact sur ceux-ci. Il y a des risques liés à l'application de solutions dans le mauvais ordre, au mauvais moment, ou sans un appui approprié. Les systèmes sociotechniques ont des interactions complexes. Le fait de ne pas tenir compte de déterminants tels que le contexte local ou les effets inattendus (de second ordre) pourrait aboutir à des échecs coûteux. Tous ces risques devraient être évalués en regard des effets négatifs potentiels de ne rien faire.

2.2.3 Géographie, démographie et autres considérations

Une compréhension du contexte canadien est importante pour déterminer quelles possibilités nouvelles et novatrices liées aux TIC ont le plus de chance de concourir à la durabilité. Le Canada fait face à des défis particuliers, mais il peut aussi miser sur de nombreux atouts pour appuyer sa démarche. Le pays a une superficie de près de 10 millions de kilomètres carrés et est caractérisé par un climat, une topographie et une densité de population variés. En dépit de sa population limitée, le Canada compte plusieurs villes importantes et dynamiques. Selon le recensement de 2011, 69 % des Canadiens vivent dans des collectivités de plus de 100 000 habitants, tandis que 35 % résident dans l'une des trois plus grandes villes canadiennes : Toronto, Montréal ou Vancouver (Statistique Canada, 2013e). De nombreux Canadiens choisissent toutefois de vivre en région rurale, loin des grands centres urbains. Les perspectives urbaines et rurales ont toutes deux leur importance dans les débats sur la durabilité au Canada.

La géographie du Canada, sa population relativement limitée et la présence de sources d'électricité à faibles émissions de GES (comme l'hydroélectricité) sont des exemples de facteurs qui feraient ressortir les catégories les plus prometteuses de solutions liées aux TIC dans le contexte canadien.

2.3 LA CAPACITÉ DU CANADA DE SOUTENIR L'UTILISATION ET LE DÉVELOPPEMENT DES TIC DANS L'OPTIQUE DE LA DURABILITÉ

Divers facteurs ont un impact sur la capacité du Canada de développer et d'adopter de nouvelles applications des TIC, dont les facteurs pertinents à l'état du secteur des TIC lui-même, le rôle des établissements d'enseignement supérieur, la préparation au monde réseauté et d'autres facteurs contextuels. Ces questions sont examinées brièvement ci-dessous.

2.3.1 Le secteur des TIC

Un aperçu du secteur des TIC au Canada à l'heure actuelle permet de saisir son importance pour l'économie canadienne et sa capacité de soutenir le développement futur des TIC dans l'optique de la durabilité. Le Canada possède des atouts traditionnels dans le domaine des télécommunications et peut compter sur un secteur des TIC dynamique ayant un coefficient de recherche élevé et offrant un nombre élevé d'emplois (voir l'encadré 2.1). De façon plus générale, étant donné que les TIC occupent une place de plus en plus importante dans toutes les industries et les entreprises au Canada, la taille du secteur des TIC lui-même n'englobe qu'une fraction de l'ensemble des activités reliées aux TIC dans la société canadienne.

Encadré 2.1

Emploi, taille et activité de recherche du secteur des TIC au Canada

- En 2011, le secteur canadien des TIC avait un PIB de 62,7 milliards de dollars et employait plus de 555 000 personnes (plus de 3 % de tous les emplois au Canada) (Industrie Canada, 2012).
- La fabrication de matériel de communication, la conception de systèmes informatiques et les services connexes représentent plus de 18 % de toutes les dépenses de recherche-développement industrielle (R-Di) (CAC, 2013a).
- Le Canada compte actuellement plus de 30 000 entreprises de TIC, la majorité de petite taille (environ 85 % ont 10 employés ou moins). Seulement 75 entreprises environ (moins de 1 %) emploient plus de 500 personnes (Industrie Canada, 2013).
- En 2011, les 250 plus importantes entreprises de TIC au Canada ont vu leurs recettes augmenter de 12 % par rapport à 2010, atteignant 82,62 milliards de dollars (Branham Group Inc., 2012). Il s'agissait d'un nouveau sommet pour les recettes.
- La composition géographique des 250 principales entreprises de TIC au Canada est relativement statique. En 2011, 95 % de ces entreprises avaient leur siège social en Ontario, au Québec, en Colombie-Britannique ou en Alberta. Cependant, certaines entreprises canadiennes de pointe se trouvent à Fredericton, à Halifax et à Winnipeg (Branham Group Inc., 2012).
- Le Canada profite d'un vigoureux secteur des technologies propres* qui compte environ 700 petites et moyennes entreprises, lesquelles sont à l'origine de plus de 44 000 emplois directs (Analytica Advisors, 2012).

* *Selon Analytica Advisors (2012), « une entreprise de technologie propre se définit comme étant principalement engagée dans le développement, la commercialisation et/ou l'utilisation d'une technologie dont elle est propriétaire pour offrir des produits ou services qui atténuent les effets négatifs sur l'environnement tout en offrant une performance concurrentielle et/ou qui utilisent moins de ressources que les technologies traditionnelles ». [Traduction]*

Tant le secteur des TIC que les industries vertes ont une importante présence au Canada en termes d'emplois et elles laissent entrevoir un potentiel de croissance supplémentaire. Comparativement à la main-d'œuvre en général, les travailleurs des TIC reçoivent une rémunération plus élevée et ont une plus grande probabilité de détenir un diplôme universitaire (Industrie Canada, 2013). Les emplois verts ne se limitent pas à un seul secteur et ils sont donc plus difficiles à retracer, mais les données indiquent que les emplois verts sont un secteur de croissance potentielle. Ainsi, on a estimé que pour chaque million de dollars investis dans le secteur des énergies vertes, entre 12 et 16 emplois directs et indirects sont créés, comparativement à 5 emplois dans l'économie des combustibles fossiles (Pollin *et al.*, 2008; Pollin et Garrett-Peltier, 2009). En particulier, la croissance à l'intersection du secteur des TIC et des industries vertes pourrait bénéficier au Canada grâce à la création d'un nombre important d'emplois, dont plusieurs de haute qualité.

Le Canada a traditionnellement été un chef de file des télécommunications. Des entreprises comme Nortel et BlackBerry ont fait du Canada un leader mondial du secteur technologique à la fin du 20e siècle, créant des milliers d'emplois et de nombreux débouchés pour des entreprises dérivées. Plus récemment, cette position de chef de file s'est affaiblie. Malgré ce déclin, le Canada a enregistré le troisième taux de croissance le plus élevé dans le monde entre 2001 et 2012 pour les brevets liés aux technologies mobiles (Diamond et Roberts, 2012). En 2011, les recettes globales du secteur des télécommunications ont atteint 42,7 milliards de dollars (CRTC, 2012).

Les TIC ont récemment été reconnues comme étant l'une des quatre industries clés pour le dynamisme de la R-Di au Canada (CAC, 2013a). En outre, la fabrication de matériel de communication et la conception de systèmes informatiques et les services connexes ont été à l'origine de près de 29 % de tous les brevets déposés par l'industrie au Canada entre 2003 et 2010. Les brevets canadiens dans l'industrie des TIC sont aussi hautement cités, avec une moyenne des citations relatives de 2,03 (MCR)[2] dans la fabrication de matériel de communication et de 1,69 dans la conception de systèmes informatiques et les services connexes. La moyenne mondiale est de 1,0 pour l'ensemble des brevets (CAC, 2013a).

Les dépenses en R-Di (en pourcentage du PIB total) ne sont pas restées stationnaires au cours des dernières années, augmentant de près de 5 % dans la conception de systèmes informatiques et les services connexes de 2001 à 2012, tout en diminuant d'un pourcentage à peu près égal dans la fabrication

2 Voir CAC (2013) pour des renseignements supplémentaires sur la MCR et la façon de la mesurer.

de matériel de communication (CAC, 2013a). Les exportations ont suivi la même tendance, augmentant de plus de 6 % dans le secteur de la conception de systèmes informatiques et les services connexes entre 1997 et 2008, mais reculant de 0,85 % dans la fabrication de matériel de communication sur la même période (CAC, 2013a).

2.3.2 Les établissements d'enseignement supérieur

Les universités qui font de la recherche sont une source importante de connaissances fondamentales en contribuant à la conception, au développement et à la diffusion d'innovations (Mowery et Sampat, 2006). Ces centres de production du savoir sont la pierre angulaire de l'élaboration de produits, de procédés et de concepts nouveaux capables de révolutionner la société (Stokes, 1997). En préparation pour l'économie numérique, les universités de recherche peuvent jouer un rôle clé dans l'exécution de la recherche, la création et le maintien de l'infrastructure de recherche et la formation de la prochaine génération de talents (AUCC, 2010).

Les universités canadiennes ont démontré une solide capacité de recherche dans les TIC. Le rapport du CAC intitulé *L'état de la science et de la technologie au Canada, 2012*, a reconnu les TIC comme l'un des six domaines de la recherche universitaire où le Canada excelle, représentant plus de 10 % de la production d'études scientifiques au Canada entre 2005 et 2010, tout juste après la médecine clinique (CAC, 2012). Les sous-domaines qui font voir un dynamisme particulier sont notamment l'informatique médicale, les systèmes d'information, le matériel et l'architecture informatiques, ainsi que le réseautage et les télécommunications. Dans l'ensemble de ces sous-domaines, le Canada se classe parmi les quatre premiers pays au monde pour la MCR. Plusieurs grappes de recherche en émergence rapide ont aussi été observées, notamment dans les technologies de réseautage et de communications sans fil, le traitement de l'information et l'informatisation, ainsi que l'analytique de données avancée.

Les universités et les collèges forment du personnel hautement qualifié et compétent. Le nombre d'inscriptions dans les établissements postsecondaires canadiens en mathématiques, en informatique et en sciences de l'information a atteint un sommet en 2001–2002, soit plus de 83 000 étudiants, pour ensuite chuter de façon spectaculaire (Statistique Canada, 2013f). En 2011–2012, les inscriptions dans ces disciplines atteignaient légèrement plus de 60 000, un niveau près de 30 % inférieur au sommet précédent. Les inscriptions aux programmes de génie du premier cycle ont toutefois augmenté de manière significative pour atteindre 190 000 étudiants en 2011–2012, une augmentation de 40 % par rapport à 2001–2002. En ce qui a trait aux diplômes de cycle supérieur, les universités canadiennes sont concurrentielles au niveau international pour ce

qui est de la production de diplômés au doctorat dans les domaines liés aux TIC. En 2010, 6,9 % des diplômes de doctorat au Canada ont été décernés en mathématiques, en statistique et en informatique (Statistique Canada, 2013c). En outre, durant la période 2005–2010, le Canada a enregistré une hausse continue du nombre de diplômés au niveau du doctorat dans les domaines liés aux TIC.

Le Canada est également avantagé par les collèges et les universités qui participent activement à la création de partenariats stratégiques avec l'industrie. Ces partenariats peuvent aider à déterminer quels sont les défis auxquels le Canada doit faire face dans l'optique de la durabilité, en évaluant les possibilités actuelles et potentielles associées aux TIC pour relever ces défis et en étudiant l'impact éventuel de ces technologies sur les comportements humains (AUCC, 2010). Plusieurs de ces partenariats sont centrés sur le développement et la promotion d'utilisations innovantes des TIC. Ils englobent plusieurs réseaux stratégiques du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) : le réseau stratégique du CRSNG sur les mini-réseaux, le réseau stratégique du CRSNG sur les bâtiments intelligents à consommation énergétique nette nulle, et le réseau stratégique du CRSNG sur les applications intelligentes des infrastructures virtuelles. Dans le secteur collégial, un partenariat digne de mention est le Seneca Centre for Development of Open Technology (2013). Ce centre est un partenariat entre le collège Seneca et diverses entreprises (p. ex. Mozilla), axé sur la mise au point de produits à accès libre.

2.3.3 État de préparation au monde réseauté

Bien que le dynamisme des TIC et des systèmes d'enseignement axés sur les TIC au Canada constitue un atout pour la création de nouvelles possibilités liées aux TIC, d'autres facteurs économiques et politiques influeront aussi sur ces possibilités. Dans un rapport récent, intitulé *The Global Information Technology Report 2013*, le Forum économique mondial a présenté un classement de l'état de préparation actuel aux réseaux de TIC de 144 économies avancées et émergentes (Bilbao-Osorio *et al.*, 2013). Le rapport évalue le soutien au niveau des entreprises et de la réglementation, le niveau d'accès aux TIC des principaux acteurs sociaux (personnes, entreprises et gouvernements) et leur utilisation des TIC, ainsi que les grandes répercussions sociales et économiques de ces technologies transformatrices. Le Canada se situe dans le peloton de tête, occupant le 12e rang au classement pour l'état de préparation au monde réseauté (les trois premiers pays sont la Finlande, Singapour et la Suède). Le Canada offre un environnement habilitant robuste pour le développement des TIC, arrivant au 10e rang mondial, et il obtient un score élevé pour le climat d'affaire et d'innovation (disponibilité du financement, accès à du personnel talentueux, et disponibilité de la technologie et demande pour celle-ci), ainsi

que pour son contexte réglementaire et politique (protection des droits de propriété et efficience du processus d'élaboration des lois). Le Canada devance au classement plusieurs économies avancées, dont les États-Unis, l'Allemagne, la France, le Japon et la Corée (Bilbao-Osorio *et al.*, 2013).

Le Canada est également l'un des pays les mieux préparés à tirer parti des TIC, se classant au cinquième rang derrière la Finlande, l'Islande, la Suède et les États-Unis (Bilbao-Osorio *et al.*, 2013). Mais, observation plus importante, le Canada fait mauvaise figure en ce qui a trait au coût de l'accès aux TIC (43e au classement mondial). Alors que le Canada est l'un des pays les mieux cotés pour l'état de préparation aux TIC et qu'il offre un climat d'affaire et un contexte réglementaire propices, il éprouve des difficultés sous l'angle de l'augmentation de l'utilisation des TIC parmi les acteurs sociaux (24e rang). Le Canada arrive notamment au 27e rang pour ce qui est de la pénétration et de la diffusion des TIC chez les particuliers, au 24e rang pour ce qui est de la capacité des entreprises à adopter des technologies ou à faire preuve d'innovation, et au 22e rang pour ce qui est de l'importance que le gouvernement accorde aux politiques de TIC destinées à améliorer le bien-être (Bilbao-Osorio *et al.*, 2013).

2.3.4 Autres facteurs

D'autres facteurs contextuels influeront sur la nature des possibilités liées aux TIC qui auront le plus grand impact positif sur la durabilité au Canada. À titre d'exemple, l'étendue géographique du pays et la faible densité de sa population sont des facteurs déterminants qui incitent à améliorer les réseaux de transport et de communication dans les régions rurales et éloignées, de même qu'en milieu urbain. L'utilisation des TIC pour améliorer la planification urbaine, accroître l'efficience au bureau et à la maison, et réduire les déplacements et les autres formes d'utilisation des ressources engendrera des avantages significatifs. Le Canada a l'occasion d'élargir l'accès à ces technologies au profit des populations rurales et éloignées, créant du même coup des avantages économiques, sociaux et environnementaux considérables.

2.4 COMMENT LES TIC INFLUENT SUR LA VIE DES CANADIENS

La technologie continue d'évoluer à un rythme effarant, et son adoption par les consommateurs est tout aussi rapide. Ainsi, avec la pénétration croissante des appareils mobiles personnels, un grand nombre de Canadiens sont aujourd'hui constamment connectés, ce qui change la façon dont ils communiquent, interagissent avec leur environnement, étendent leurs connaissances, font des affaires et passent leurs temps libres.

D'autres développements liés aux TIC ont profondément changé les activités des entreprises et des gouvernements et la vie des gens. Ainsi, l'informatique en nuage a modifié radicalement la façon dont les Canadiens et les entreprises canadiennes stockent et analysent des données, tandis que les capteurs ont ouvert de nouvelles possibilités de surveillance plus précise de l'environnement et de la consommation d'eau et d'énergie. En outre, des objets qui, autrefois, n'étaient pas perçus comme ayant un contenu technologique deviennent aujourd'hui intelligents. Les Canadiens progressent vers l'*Internet des objets*, ou l'*Internet de tous les objets* (des notions lancées par la société Cisco), où tous les objets seraient reliés les uns aux autres au sein d'un réseau semblable à Internet qui transformera la façon dont les gens perçoivent, utilisent et interagissent avec leur environnement (Evans, 2012; Smith *et al.*, 2012).

La prolifération d'appareils de TIC et leur connectivité croissante provoquent une véritable explosion de données. À titre d'exemple :

- La société Cisco estime que le trafic mobile de données dans le monde devrait croître par un facteur de 13 entre 2012 et 2017 (Cisco, 2013).
- Les données d'images et d'imagerie ont démultiplié la quantité de données recueillies et stockées dans le domaine médical, et l'on s'attend à ce que cette tendance se poursuive. En 2012, il y avait 500 pétaoctets (1 pétaoctet correspond à 1 million de gigaoctets) de données sur la santé dans le monde, soit assez pour remplir 10 milliards de classeurs à quatre tiroirs. Certains spécialistes et groupes estiment que ce volume se multipliera 50 fois (pour atteindre 25 000 pétaoctets) d'ici à 2020 (Andrews, 2011; Xerox, 2012).

La technologie ne cesse d'évoluer et il est difficile sinon impossible de prédire quels nouveaux développements auront un caractère transformationnel et lesquels seront pour l'essentiel ignorés.

L'amélioration des communications est un objectif fondamental de nombreuses TIC et plusieurs applications ont réussi à changer notre approche de la communication. Les sites de réseautage social tels que Facebook, Twitter et Pinterest redéfinissent les relations communautaires en rassemblant une large coalition de gens qui n'avaient pas de liens auparavant. Ces nouveaux rapports pourraient avoir un impact social positif sur les personnes et faciliter la collaboration entre des groupes œuvrant à l'atteinte d'objectifs individuellement et mutuellement bénéfiques. Dans ce qu'il a de mieux à offrir, le réseautage social facilite une mobilisation rapide de l'optimisme et de l'action entre les gens à la grandeur du globe. En revanche, certains ont noté que la tendance qu'ont ces technologies à accentuer l'isolement individuel au détriment de

l'interaction humaine menace le savoir documenté ou renforce la capacité des gens de se cantonner dans des visions autoréférentielles du monde (Fachbereich Wirtschaftsinformatik und Neue Medien, 2010).

De nos jours, les appareils en réseau destinés à l'utilisateur final permettent d'avoir accès à l'information et de l'utiliser rapidement et facilement à la maison, au travail ou en déplacement. Cet accès et cet engagement peuvent comporter des avantages sur le plan de la durabilité. Les citoyens qui ont un plus grand accès à des renseignements et à des analyses, par exemple sur la performance environnementale ou sociale d'une entreprise, peuvent faire des choix plus éclairés. Les systèmes améliorés d'étiquetage des produits de consommation peuvent éventuellement avoir un effet positif sur les décisions des consommateurs et sur les normes appliquées par l'industrie. L'étiquetage fondé sur les TIC est une façon d'améliorer la traçabilité des produits alimentaires et, ainsi, d'encourager la durabilité tout au long de la chaîne alimentaire (Wognum *et al.*, 2011). Voir l'encadré 2.2 qui renferme un exemple.

Encadré 2.2
Exemple d'étiquetage fondé sur les TIC : ThisFish

ThisFish est un système de traçabilité des poissons et fruits de mer axé sur le consommateur qui a été créé par Ecotrust Canada en collaboration avec les pêcheurs et les fournisseurs de fruits de mer et qui vise à fournir des renseignements au sujet de l'authenticité, de la qualité et de la durabilité des poissons et fruits de mer canadiens (Ecotrust Canada, 2013). Au moment de la capture, le pêcheur appose sur le poisson une étiquette comportant un code unique, puis il télécharge des renseignements sur l'endroit d'où provient le poisson et son mode de capture. D'autres entreprises de poissons et fruits de mer téléchargent des renseignements supplémentaires correspondant à cette étiquette codée sur la façon dont le poisson est traité et transformé à mesure qu'il avance dans la chaîne d'approvisionnement. Les consommateurs, les détaillants et les restaurateurs peuvent utiliser ce code unique pour obtenir des détails au sujet du poisson ou du fruit de mer à ThisFish.info. En définitive, le programme permet au client de faire un choix plus éclairé à l'achat, tout en améliorant la transparence et l'obligation redditionnelle des pratiques de pêche partout dans l'industrie (Ecotrust Canada, 2013).

Les gouvernements communiquent de plus en plus en ligne avec les citoyens et favorisent une sensibilisation aux processus décisionnels par des initiatives de cybergouvernement. Ces dernières années, les exemples de participation

citoyenne facilitée par les TIC dans le monde vont des mouvements populaires spontanés associés au printemps arabe à des processus participatifs et des activités de mobilisation communautaire (Allagui et Kuebler, 2011) (voir la section 4.6).

Dans le contexte de la promotion des comportements durables, la mobilisation permet aux intervenants de définir leur propre avenir de façons qui leur seront personnellement et collectivement bénéfiques. Une pleine mobilisation publique requiert une communication dynamique et participative entre les acteurs en plus de l'accès à l'information. Il ressort clairement de cette explosion d'activités que les TIC ont fourni une plateforme qui permet aux gens de participer à la prise de décision de façons nouvelles. Une plus grande participation de tous les segments de la société au processus décisionnel pourrait renforcer la confiance du public à l'égard du gouvernement et favoriser la stabilité sociale. À Vancouver, le Greenest City Conversations Project adopte une telle approche en vue de faciliter la participation par différents canaux et activités pour promouvoir une meilleure sensibilisation comportementale face aux enjeux de la durabilité (Tanenbaum *et al.*, 2011; Bendor *et al.*, 2012).

Un autre exemple de la façon dont les TIC changent la vie quotidienne est la possibilité de modifier les profils de consommation en suivant et en évaluant l'information, en changeant les prix au passage et en mettant en place des mesures qui favoriseront une utilisation durable des ressources. Une application qui en fait la démonstration est le concept des prix dynamiques, où le prix d'un service est établi en fonction du moment auquel il est offert. Ainsi, les tarifs d'électricité fixés selon l'heure d'utilisation permettent à une entreprise de services publics d'appliquer des taux différents pour la consommation d'électricité à différents moments de la journée, les tarifs étant plus élevés durant les périodes de pointe. Cela pourrait comporter des avantages tant pour le fournisseur de services que pour le consommateur : ce dernier obtient de l'électricité à moindre coût hors des périodes de pointe, tandis que le fournisseur de services peut éventuellement réduire la puissance globale du réseau.

Les TIC peuvent aussi fournir directement de l'information aux consommateurs, ce qui les aiderait à prendre des décisions qui concourront à l'atteinte des objectifs de durabilité. Fournir de l'information par le biais des TIC d'une manière acceptable à l'utilisateur peut favoriser la sensibilisation requise pour éclairer les décisions touchant à la consommation des ressources ou à la production de déchets, par exemple. Changer le comportement des gens peut être aussi simple que de leur fournir le genre de données susceptibles de les persuader d'agir de manière plus durable. Ainsi, Kuznetsov et Paulos (2010) ont constaté qu'en installant un dispositif qui permet de suivre l'utilisation de l'eau, ils ont réussi à faire baisser la consommation d'eau dans toutes les

maisons privées ayant participé à leur expérience, grâce à une plus grande sensibilisation comportementale des participants à la durabilité et aux enjeux environnementaux allant au-delà de l'utilisation de l'eau.

2.5 CONCLUSION

Le chapitre a fait un bref tour d'horizon de certains des principaux facteurs contextuels qu'il importe de bien comprendre pour déterminer quelles TIC et quelles applications des TIC pourraient éventuellement produire les avantages environnementaux, sociaux et économiques les plus grands pour les Canadiens. En misant sur ces atouts, le Canada pourrait améliorer sa performance environnementale tout en récoltant des avantages économiques et sociaux. La société canadienne est bien branchée et le pays possède une industrie des TIC et des établissements d'enseignement postsecondaire ayant une forte présence dans la recherche liée aux TIC. Il y a néanmoins place à l'amélioration, puisque le Canada n'obtient pas un bon classement pour ce qui est de la pénétration des TIC, de leur diffusion parmi la population et de la capacité des entreprises d'adopter des technologies.

Les chapitres qui suivent examinent la plateforme de TIC qui pourrait sous-tendre la création d'occasions propices à la durabilité (chapitre 3) et la façon dont cette plateforme pourrait servir à produire des avantages pour le Canada sur le plan de la durabilité, à travers le prisme de six domaines thématiques clés en lien avec la vie quotidienne (chapitre 4).

3

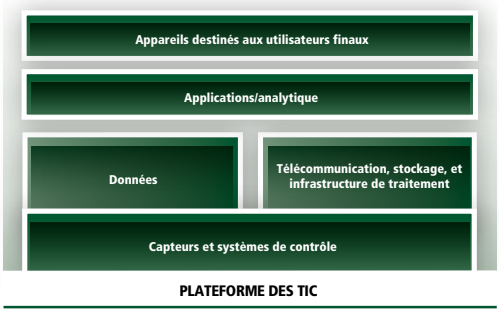
Plateforme habilitante pour un Canada durable et interconnecté

- Appareils destinés à l'utilisateur final
- Données
- Applications et analytique de données
- Télécommunications, stockage et infrastructure de traitement
- Capteurs et systèmes de contrôle
- Coût environnemental des TIC
- Miser sur les atouts canadiens
- Conclusion

3 Plateforme habilitante pour un Canada durable et interconnecté

Principales constatations

- Tous les éléments du système complexe des TIC sont essentiels, y compris les appareils destinés à l'utilisateur final, les données, les applications et l'analytique de données, les télécommunications, le stockage et l'infrastructure de traitement, ainsi que les capteurs et systèmes de contrôle. Ces technologies sont des éléments des pôles interconnectés dans les systèmes sociotechniques complexes.
- L'intégration transparente de ces éléments dans un système intelligent interconnecté permet un accès sans précédent à l'information et aux connaissances, facilitant une réduction durable des effets environnementaux, l'amélioration de la qualité de vie et une importante création de valeur.
- La prolifération de ces appareils et systèmes posera des défis environnementaux et sociaux.
- Disposant de nombreuses sources d'électricité à faibles émissions de GES, le Canada a la capacité de devenir un chef de file dans l'hébergement de centres de données verts, qui font partie de l'infrastructure technologique requise pour amener une réduction des émissions de GES.



Comme jamais auparavant, les gens sont aujourd'hui connectés au monde de l'information et à celui des choses fabriquées par l'homme. Cela a des conséquences profondes pour l'économie, la société et l'interaction entre les humains et le milieu naturel. L'accès en temps réel à de vastes ensembles de données et l'analyse de celles-ci ouvrent de nouvelles possibilités pour évaluer les changements qui surviennent dans l'environnement, et pour collaborer, prendre des décisions et modifier les comportements en vue d'atteindre des objectifs de durabilité. Grâce à un taux de pénétration de plus en plus élevé et à une fonctionnalité croissante, les TIC pourraient atténuer l'impact de l'homme sur tous les types d'écosystèmes mondiaux, engendrant du même coup des avantages économiques et sociaux de même que des gains sur le plan de l'environnement.

Bien que les éléments qui composent les TIC soient variés et ne cessent d'évoluer, le comité d'experts a retenu cinq composantes techniques des TIC qui laissent entrevoir un potentiel important pour influencer ou promouvoir la durabilité (la plateforme des TIC à la figure 1.1) :

(i) *Les appareils destinés à l'utilisateur final* (tels que les téléphones intelligents, les tablettes et les ordinateurs portables) fournissent l'interface entre le monde numérique (l'information et l'automatisation) et les utilisateurs humains (consommateurs, gens d'affaires, chercheurs, gestionnaires de services publics, programmeurs de TIC et autres).

(ii) *Les données* sont les points d'information que les gens collectent, analysent et échangent. Des données sont recueillies à un taux exponentiel par les innombrables appareils de TIC actuellement en usage partout dans le monde, ainsi que par des sources d'information plus classiques.

(iii) *Les applications et l'analytique de données* fournissent les outils permettant d'étudier ce tsunami de données pour y détecter des tendances et des corrélations qui pourraient faire ressortir de nouveaux renseignements.

(iv) *Les télécommunications, le stockage et l'infrastructure de traitement* fournissent les systèmes d'information (de plus en plus localisés dans le nuage), la puissance de calcul avancée et les infrastructures de réseaux requises pour transférer, archiver et traiter l'information et les quantités de plus en plus grandes de données disponibles.

(v) *Les capteurs et systèmes de contrôle* fournissent l'interface entre le monde numérique et le monde matériel. Les capteurs recueillent et transmettent des renseignements au sujet de leur environnement physique, par exemple la consommation d'énergie, les changements dans la qualité de l'air, ou l'augmentation du niveau de l'eau. Les systèmes de contrôle utilisent l'information pour agir directement sur le milieu ou pour contrôler d'autres appareils de TIC.

Ces cinq composantes techniques sont interdépendantes et auront vraisemblablement le plus grand impact si elles sont mises en œuvre et utilisées conjointement. Prises ensemble, ces technologies peuvent être appliquées pour exécuter un plus large éventail de tâches, plus rapidement et de façon plus rigoureuse et efficiente. Incidemment, c'est la fonctionnalité combinée des TIC qui distingue ce groupe de technologies des autres que l'on pourrait employer pour atteindre des objectifs de durabilité. En outre, cette fonctionnalité continue de s'étendre. Aujourd'hui, les TIC peuvent être utilisées pour surveiller efficacement des milieux naturels ou de fabrication humaine, prévoir l'évolution de systèmes et d'interactions complexes, gérer de grandes quantités de données, faire des diagnostics et exécuter des instructions, et bien davantage. Les possibilités que laisse entrevoir l'avenir donnent cours à l'imagination.

3.1 APPAREILS DESTINÉS À L'UTILISATEUR FINAL

Le Canada est une société hautement connectée. Cela est en partie attribuable à l'évolution récente des appareils mobiles destinés à l'utilisateur final, comme les ordinateurs portables, les téléphones intelligents et les tablettes, qui peuvent recevoir, stocker et afficher de l'information. Les Canadiens ont adopté ces technologies tant pour leur usage personnel qu'à des fins professionnelles. Les propriétés suivantes sont celles qui décrivent le mieux ces technologies (liste adaptée de Diamond et Roberts, 2012) :

Mobilité et ubiquité : La fonctionnalité sans cesse croissante des appareils mobiles incite un plus grand nombre de Canadiens à adopter ces appareils à diverses fins. Bien que, dans leur forme actuelle, les tablettes aient été lancées sur le marché en 2010 par la société Apple, elles ne sont pas immédiatement entrées dans la vie quotidienne de nombreux Canadiens. Il y a trois ans encore, seulement 21 % des Canadiens affirmaient utiliser une tablette, soit une augmentation de 11 % sur l'année précédente (Ipsos, 2013). Environ la moitié des Canadiens déclarent aujourd'hui utiliser un téléphone intelligent. De plus en plus de gens transportent sur eux de petits appareils qui servent d'interface entre le monde réel et le monde numérique.

Connectivité et interconnectivité : Les appareils destinés à l'utilisateur final sont de plus en plus reliés à des réseaux sans fil, permettant aux gens de partager de l'information et de collaborer avec d'autres de n'importe quel endroit.

Sensibilité au contexte : Le téléphone intelligent moyen renferme de nombreux types de capteurs différents, allant du système mondial de localisation (GPS) à des capteurs de la lumière ambiante, des accéléromètres et des magnétomètres. Avec cette gamme de dispositifs, les gens peuvent utiliser leur téléphone intelligent et d'autres appareils pour partager de l'information sur leur localisation ou des données environnementales (voir l'encadré 3.1).

L'évolution vers des appareils facilitant la mobilité de l'information signale un changement majeur dans la façon dont les gens accèdent à l'information et la partagent. Cette tendance ouvre un nouveau monde de possibilités aux gens et aux collectivités pour leur permettre d'avoir une influence positive sur les enjeux de la durabilité : de l'acquisition ou de la production de connaissances sur l'état de l'environnement, au contrôle à distance des espaces habitables, à l'accès à des renseignements sur la circulation en temps réel et jusqu'au simple partage d'idées. Les médias sociaux et l'externalisation ouverte (*crowdsourcing*) des sources d'information ne sont que quelques-uns des moyens émergents utilisés par les gens pour mettre à profit ce phénomène nouveau. Outre les applications potentielles qui sont pertinentes à la durabilité, l'adoption de la

Encadré 3.1
Les humains en tant que capteurs et agents de changement

Les appareils destinés à l'utilisateur final, qui sont munis d'une foule de capteurs, donnent aux gens la possibilité de recueillir et de fournir de précieux renseignements sur l'évolution de l'état du milieu, ce qui en fait un complément utile aux stratégies de durabilité. Cette philosophie est à la base de la notion d'externalisation ouverte, une activité d'observation participative qui permet à tous et chacun, grâce à l'utilisation des TIC, de faire une contribution valable à la recherche scientifique pour éclairer les décisions de politique publique. Ainsi, de nombreux nouveaux téléphones intelligents intègrent un baromètre ou un capteur de température pouvant servir à recueillir des données en vue de prédire le temps (Marks, 2013; Overeem *et al.*, 2013).

La simple action de participer peut amener les citoyens à se sentir plus directement concernés par les questions de durabilité. Les renseignements recueillis peuvent aussi être utilisés pour éduquer d'autres personnes et susciter des changements positifs dans les comportements.

technologie mobile pourrait avoir des répercussions positives sur l'économie. Ainsi, 50 % des entreprises canadiennes indiquent avoir abaissé leurs coûts d'exploitation en adoptant des technologies mobiles (CTIC, 2013). Cependant, tel que mentionné au chapitre 2, ces technologies pourraient contribuer à isoler les particuliers de toute interaction humaine.

Le comité d'experts reconnaît que la valeur de ces dispositifs pour les stratégies de durabilité réside dans l'étendue des applications qui pourraient être utilisées sur ces appareils et les façons dont les gens choisissent de les employer. L'évolution des appareils destinés à l'utilisateur final ouvre un nouveau monde de possibilités aux particuliers et aux collectivités, qu'il s'agisse des conducteurs qui ont accès à des renseignements sur la circulation ou des gestionnaires de services publics qui suivent, modélisent et prennent des décisions en temps réel concernant la consommation d'énergie ou d'eau. Ces possibilités sont examinées plus en détails dans le présent chapitre et au chapitre 4.

3.2 DONNÉES

« À l'échelle mondiale, 90 % des données actuelles ont été créées au cours des deux dernières années. » [Traduction]

(Cavoukian et Jonas, 2012)

D'ici 2020, on prévoit que la quantité de données produites dans le monde augmentera de près de 5 000 %, passant de 1,8 à 90 zettaoctets[3] (Wallis, 2012). Deux grands facteurs nourrissent cette expansion : la capacité croissante de produire de l'information à l'échelle mondiale et l'apparition de nouvelles façons de stocker et de gérer les données (nuage) (MaRS Commons, 2013). Ainsi, la société Cisco prévoit qu'en 2020 quelque 50 milliards d'appareils, la plupart produisant des données, seront reliés à Internet (Evans, 2012). Les médias sociaux et les activités d'externalisation ouverte produisent également leur part de données : un milliard de commentaires sont affichés quotidiennement sur des blogs et des réseaux sociaux (Forum économique mondial, 2012). Les flux de données pertinents aux applications des TIC qui améliorent la performance environnementale peuvent être reliés à divers enjeux, dont la surveillance de l'environnement, la distribution de l'énergie et de l'eau et la production de déchets. Ainsi, les activités de surveillance de l'environnement produisent des pétaoctets de données brutes transmises par des capteurs, souvent en temps réel. Ces renseignements peuvent porter sur des paramètres environnementaux aussi variés que l'air et l'atmosphère, l'eau, le climat ou le sol. Les données provenant des applications des TIC peuvent être produites volontairement (p. ex. l'externalisation ouverte), observées (p. ex. la localisation, les compteurs intelligents des services publics, l'automatisation des bâtiments) ou inférées (p. ex. les prévisions météorologiques, la modélisation, l'analytique prédictive) (Forum économique mondial, 2011).

Non seulement la quantité de données augmente-t-elle, mais la rapidité avec laquelle il faut les analyser s'accélère. Pour être efficace, la prise de décision en temps réel requiert l'analyse simultanée des données lorsqu'une réaction rapide s'impose (p. ex. lors d'événements météorologiques graves, le contrôle des crues ou la surveillance des structures). Cette tendance a donné naissance au concept de *mégadonnées* (big data), défini comme étant « des ensembles de données dont la taille dépasse la capacité de saisie, de stockage, de gestion et d'analyse des outils habituels des logiciels de base de données » [traduction] (Manyika *et al.*, 2011). Le plein potentiel des mégadonnées est actuellement

3 Un zettaoctet correspond à un milliard de téraoctets.

sous-exploité. À titre d'exemple, un sondage récent réalisé par Forbes révèle que de nombreux dirigeants ont de la difficulté à définir en quoi consistent les mégadonnées et quels sont leurs avantages potentiels (Forbes Insights, 2013).

Le comité d'experts reconnaît que l'accessibilité, le jumelage et l'extraction des informations que recèle cette masse de données ont une importance capitale pour relever les nombreux défis associés à la durabilité. Un exemple des complexités de ce défi qui sont propres au Canada est la fragmentation des paliers administratifs. Les données provenant des compteurs peuvent appartenir à un ou plusieurs gouvernements, au secteur privé ou à des particuliers, selon la sphère de compétence. Cela peut compliquer la tâche de déterminer qui est responsable de la mesure de la consommation d'électricité ou d'eau des ménages à des fins de durabilité. En Ontario, la distribution de l'électricité et la gestion des compteurs relèvent d'entreprises locales, tandis qu'au Québec ces activités sont gérées par Hydro-Québec, une entreprise de services publics provinciale. Bien que les municipalités soient principalement responsables du suivi de la consommation d'eau, il y a un manque de normalisation des compteurs, et un fossé important sépare les régions urbaines et rurales. En 2009, 72,1 % des habitations unifamiliales desservies par les réseaux d'aqueduc municipaux au Canada avaient un compteur (moins de 50 % dans les localités de moins de 2 000 habitants) (Environnement Canada, 2009). En région rurale, les habitations sont habituellement desservies par des puits et, en règle générale, elles ne sont pas reliées à un réseau centralisé de compteurs. Les questions relatives à la protection de la vie privée et à la sécurité sont deux défis qui transcendent la problématique des mégadonnées (voir le chapitre 5).

3.3 APPLICATIONS ET ANALYTIQUE DE DONNÉES

Les applications sont au cœur des technologies capables d'habiliter et de gérer le fonctionnement des systèmes de réseaux intelligents, des bâtiments, des réseaux de transport, des technologies de captage et d'autres possibilités. Que l'on traite des interfaces de soutien décisionnel et d'automatisation des données, de l'analytique et de l'exploration, ou de l'organisation et de la gestion des données, les applications et l'analytique de données font partie des possibilités axées sur la durabilité. En particulier, l'analyse des données devient une composante de plus en plus importante de la durabilité. Les données transmises par le nombre croissant d'appareils connectés offrent la possibilité de faire des analyses afin de rendre ces données encore plus utiles. À titre d'exemple, la Direction de la recherche climatologique du Canada abrite des systèmes de modélisation pour la recherche climatique et atmosphérique qui

fournissent de précieux renseignements aux Canadiens et à la communauté internationale sur la dynamique du système terrestre, la surveillance des phénomènes météorologiques violents et l'étude des nombreuses causes et répercussions du changement climatique qui touchent tous les aspects de la vie quotidienne (Environnement Canada, 2013a). Cependant, des données montrent que le secteur privé canadien tire de l'arrière sur celui d'autres pays pour ce qui est d'appliquer les technologies axées sur des mégadonnées. Ainsi, une enquête menée en 2012 par l'International Data Corporation (IDC) a révélé que seulement 48 % des entreprises canadiennes ayant répondu à l'enquête avaient commencé à travailler avec des mégadonnées avant 2011, comparativement à 76 % de l'ensemble des entreprises dans le monde (Wallis, 2012).

L'avènement des mégadonnées a entraîné l'élaboration de nouveaux outils et processus afin de donner un sens aux renseignements produits et en tirer des informations utiles. L'analytique de données combine des techniques provenant de divers domaines scientifiques, tels que la statistique, les mathématiques et les sciences informatiques, avec une grande puissance de calcul pour tirer des conclusions de vastes ensembles de données ou découvrir de nouvelles caractéristiques dans ces données. Les possibilités décrites au chapitre 4 produisent des quantités considérables de données qui pourraient faire ressortir des occasions insoupçonnées si elles étaient analysées de manière appropriée. Le tableau 3.1 présente des exemples de telles applications dans le secteur du bâtiment et celui des réseaux intelligents.

Tableau 3.1

Exemples d'analytique de données existante ou émergente dans le secteur du bâtiment et celui des réseaux intelligents

Bâtiment	Réseaux intelligents
• Des **consoles** affichant de l'information sous diverses formes au sujet de la consommation de services publics, par exemple, mais en laissant l'analyse aux utilisateurs • Des **alertes** aux utilisateurs fondées sur l'analyse des données • Des **cartes de pointage** et des valeurs de référence fournissant une analyse comparative du rendement • Prévision des **tendances et des profils de comportement** de manière à optimiser le rendement	• Une **infrastructure de comptage avancée** offrant la possibilité de prédire la charge en fournissant des données de consommation granulaires • **Données sur le voltage** : grâce à des compteurs intelligents, les lectures de voltage peuvent être recueillies et jumelées à d'autres lectures provenant du réseau de distribution afin d'optimiser la régulation du voltage. • **Véhicules électriques** : analyse des tendances de charge

Hogan et Nicholson, 2011; GTM Research, 2012

De l'avis du comité d'experts, l'application de l'analytique de données aux enjeux de la durabilité pourrait engendrer des gains significatifs sur le plan de la durabilité dans les domaines qui ont de l'importance pour le Canada, y compris les suivants :

- L'analytique de données est au cœur des technologies et des applications qui facilitent le fonctionnement des systèmes de réseaux intelligents, des bâtiments, des réseaux de transport public, des technologies de capteurs et d'autres possibilités (voir, par exemple, GTM Research, 2012, sur la question de l'analytique de données pour les réseaux intelligents).
- L'analytique de données peut faire avancer la recherche et la prise de décision dans une foule de domaines importants sur le plan environnemental : de la compréhension du changement climatique et des tendances météorologiques à la surveillance des polluants atmosphériques et aquatiques, aux changements dans la modélisation du dénombrement et des mouvements des espèces, jusqu'au suivi de la progression des pathogènes nocifs. L'analytique de données peut améliorer l'efficience opérationnelle des entreprises et appuyer la création de nouvelles entreprises et l'innovation (Cebr, 2012).
- L'analytique de données peut créer des emplois. Gartner (2012) prédit que l'industrie des mégadonnées engendrera jusqu'à 4,4 millions d'emplois dans le secteur des TIC à l'échelle mondiale d'ici 2015, parce que des compétences précises sont requises pour utiliser de façon appropriée de vastes ensembles de données.

En outre, une bonne partie du potentiel de l'analytique de données n'a pas encore été exploitée. Des quantités massives de données sont produites, mais la plupart ne sont pas utilisées à l'heure actuelle. Alors que des données sont transmises en quantité croissante par le nombre grandissant d'appareils branchés en ligne, le potentiel qui s'offre pour tirer de l'information à l'appui des objectifs de durabilité augmentera de façon exponentielle.

3.4 TÉLÉCOMMUNICATIONS, STOCKAGE ET INFRASTRUCTURE DE TRAITEMENT

3.4.1 Des pipelines de données : les réseaux de télécommunicationss

Les réseaux de télécommunications sont l'épine dorsale des applications des TIC et constituent un volet essentiel de l'utilisation réussie des TIC pour promouvoir la durabilité au Canada. De la surveillance environnementale jusqu'aux systèmes de transport intelligents, le succès des applications des TIC dépend de la capacité de transmettre et de recevoir des données de façon fiable et à une vitesse raisonnable. La nécessité de miser sur les réseaux de télécommunications pour promouvoir la durabilité est démontrée dans de nombreux secteurs. À titre d'exemple, le département américain de l'Énergie (2010) reconnaît que l'un des éléments critiques des réseaux électriques

intelligents est « un accès suffisant aux installations de communications » [traduction]. Les applications industrielles des réseaux de capteurs reposent également sur le taux de connectivité des données (Buratti *et al.*, 2009). Par ailleurs, un fardeau croissant est imposé aux réseaux à travers le monde alors que de plus en plus de procédés sont en voie de virtualisation et que le stockage des données se déplace vers le nuage.

L'utilisation des réseaux progresse à un rythme élevé. Un grand nombre d'appareils numériques sont de plus en plus connectés à des réseaux de tous genres, y compris les réseaux cellulaires et Internet. Du coup, une proportion croissante des données circule sur les réseaux sans fil (GeSI, 2012). Cette tendance se poursuivra vraisemblablement, et la société Cisco (2013) prévoit que le volume de données sera multiplié par un facteur de 13 entre 2012 et 2017, parallèlement à une augmentation de la vitesse de transmission de l'ordre de 7.

Pratique prometteuse

CANARIE – Miser sur les réseaux de recherche et d'enseignement au Canada

Un programme qui revêt une importance particulière pour l'infrastructure des TIC au Canada est le Réseau évolué de recherche et d'innovation (CANARIE). CANARIE établit un lien entre les chercheurs du Canada et d'ailleurs dans le monde grâce à un réseau dédié de plus de 19 000 kilomètres de câbles de fibre optique à haut débit (CANARIE, 2012c). CANARIE permet à environ un million de chercheurs, de scientifiques et d'étudiants de partager et d'analyser de grandes quantités de données. Il offre des vitesses de téléchargement de 10 milliards d'octets par seconde sur son réseau de base et de 100 milliards d'octets par seconde dans ses principaux corridors. Entre 2007 et 2012, le trafic enregistré sur le réseau CANARIE a augmenté de 587 % (CANARIE, 2012b, s.d.). CANARIE finance des programmes qui favorisent l'évolution de l'infrastructure numérique pour les innovateurs et les chercheurs canadiens. Dans le budget fédéral de 2012, CANARIE a reçu 40 millions de dollars en fonds nouveaux sur une période de deux ans (CANARIE, 2012a).

Dans l'ensemble, les Canadiens ont accès au service Internet à large bande, mais les vitesses disponibles au pays varient considérablement. À la fin de 2013, 99 % des ménages canadiens devaient avoir accès au service Internet à large bande, avec des vitesses de téléchargement supérieures à 1,5 mégabit par seconde (mbps) ou plus (CRTC, 2011b). Cependant, la couverture n'est pas uniforme;

ainsi, en 2011, seulement 29 % de la population du Nunavut avait accès à ces débits. Pour les débits plus élevés, le fossé numérique est encore plus grand. En 2011, environs 95 % des grandes agglomérations, mais seulement environ 20 % des régions rurales, avaient accès à des vitesses de téléchargement variant entre 30 et 49,9 mbps. En outre, aucun ménage n'avait accès à des vitesses de téléchargement supérieures à 25 mbps au Ninavut, tandis qu'au Yukon, dans les Territoires du Nord-Ouest, en Saskatchewan et à l'Île-du-Prince-Édouard, l'accès était de 60 % ou moins (CRTC, 2012).

3.4.2 Stockage et infrastructure de traitement

Le stockage et l'analytique de données se déroulent de plus en plus sur des infrastructures éloignées qui sont soit partagées soit de propriété exclusive. Celles-ci offrent aux organisations et aux particuliers une ressource de calcul externe qui comprend le matériel et les logiciels nécessaires à diverses applications, y compris le stockage et l'analyse de données et la virtualisation des processus. Ce matériel se trouve habituellement dans des bâtiments dédiés munis de contrôles environnementaux tels que la climatisation de l'air et de composantes connexes comme des réseaux de télécommunications. La taille des centres de données augmente parallèlement à la quantité de données à stocker et à traiter; par conséquent, ce marché devrait représenter quelque 220 milliards de dollars dans le monde d'ici 2020 (Belady, 2011). L'informatique en nuage est reconnue pour sa capacité d'améliorer la fiabilité, la sécurité et les possibilités de collaboration (OCDE, 2009a). Elle offre également plusieurs incitatifs à l'efficience susceptibles de cadrer avec les objectifs de durabilité, notamment :

- une réduction potentielle des émissions de CO_2;
- des économies potentielles d'énergie aux États-Unis de l'ordre de 12,3 milliards de $US par an d'ici 2020;
- moins de dépenses initiales, parce que les utilisateurs n'ont pas besoin d'acquérir une infrastructure de stockage et de traitement avancée;
- la souplesse, puisque les services sont virtualisés et peuvent être rapidement déployés à l'échelle requise pour répondre à la demande;
- l'indépendance par rapport à la localisation, du fait que les serveurs sont virtualisés et accessibles par le biais de réseaux, ce qui signifie que l'endroit où se trouvent les utilisateurs a moins d'importance.

(Liste adaptée de Carbon Disclosure Project, 2011; Commission européenne, 2012)

Le Canada abrite un certain nombre de sites de superordinateurs, qui sont la propriété d'établissements universitaires, de gouvernements ou d'entreprises. En novembre 2013, parmi les sites de superordinateurs canadiens, 10 étaient classés

parmi les 500 plus rapides au monde et 10 parmi les 500 plus efficients sur le plan énergétique (The Green500, 2013; TOP500 Supercomputer Sites, 2013). Le tableau 3.2 fait voir les sites de superordinateurs les plus écoénergétiques au Canada.

Tableau 3.2

Sites des superordinateurs les plus écoénergétiques au Canada

Classement	Année	Fabricant	Emplacement	Type de structure
34	2012	IBM	Southern Ontario Smart Computing Innovation Consortium / Université de Toronto	Universitaire
93	2013	IBM	Bombardier Aéronautique	Industrie
94	2013	IBM	CLUMEQ – Université McGill	Universitaire
187	2011	IBM	Environnement Canada	Recherche
188	2011	IBM	Environnement Canada	Recherche
196	2011	SGI	Calcul Canada / Calcul Québec / Université de Sherbrooke	Universitaire
204	2010	IBM	CLUMEQ – Université McGill	Universitaire
259	2009	IBM	SciNet / Université de Toronto / Calcul Canada	Recherche
260	2013	Hewlett-Packard	Fournisseur de services de TI (C)	Industrie
474	2012	Hewlett-Packard	Gouvernement	Gouvernement

The Green500, 2013
Classement de 500 superordinateurs dans le monde selon leur efficience énergétique, la cote 1 étant attribuée au plus efficient.

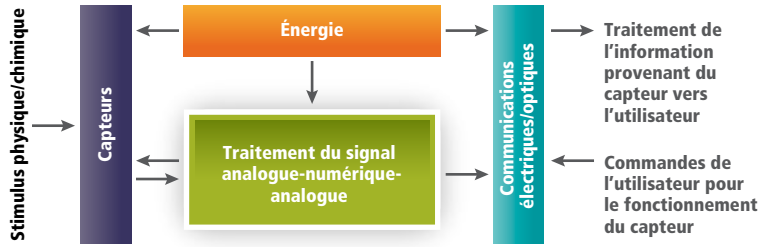
La réduction du nombre de centres de données pourrait aussi engendrer des avantages sur le plan environnemental, pourvu que ces grands centres aient un haut rendement énergétique et utilisent de l'énergie propre. Au niveau fédéral, Services partagés Canada adopte un modèle centralisé en consolidant ses 485 centres de données en 7 grands centres de données (Gouvernement du Canada, 2013b).

3.5 CAPTEURS ET SYSTÈMES DE CONTRÔLE

3.5.1 Capteurs

Les capteurs exécutent une gamme étendue de tâches, allant de la cartographie géospatiale au suivi d'interactions complexes dans les procédés de fabrication, et jouent un rôle important en vue de répondre aux nombreux défis liés à la durabilité au Canada. Les capteurs peuvent être organisés en réseaux et agir

de façon coopérative pour saisir et échanger en temps réel des renseignements sur leur milieu avec d'autres capteurs et centres de contrôle de données. Les réseaux de capteurs peuvent contribuer à la robustesse de l'information qu'ils collectent en vérifiant les données avec celles provenant d'autres capteurs. Cette redondance intégrée peut améliorer la souplesse et la résilience d'un système de surveillance (Culler *et al.*, 2004; Buratti *et al.*, 2009). Le trait essentiel des systèmes de capteurs qui leur permet d'être utiles dans des applications favorisant la durabilité est leur capacité de fournir des renseignements précis en temps réel sur toute une variété d'activités au sein d'un réseau robuste et résilient (illustré au tableau 3.3).



Reproduit avec la permission de l'Electrochemical Society
Hunter *et al.*, 2010

Figure 3.1

Système de capteurs intelligents

Un système de capteurs a trois grandes composantes : le capteur lui-même qui perçoit un stimulus externe, un microprocesseur qui traite le signal (représenté par la case de traitement du signal analogue-numérique-analogue) et un système de communication (représenté par la case des communications électriques/optiques) qui transmet l'information. Le fonctionnement des trois composantes nécessite une source d'énergie.

Tableau 3.3

Types d'applications des réseaux de capteurs

Surveillance de l'espace	Surveillance de l'environnement
	Agriculture de précision
	Régulation du climat intérieur

Surveillance d'objets	Surveillance des structures
	Entretien du matériel en fonction de l'état constaté
	Cartographie du territoire urbain
Surveillance d'interactions complexes	Habitat de la faune et de la flore
	Environnement informatique omniprésent
	Déroulement des procédés de fabrication

Culler *et al.*, 2004

Outre les avantages qu'ils comportent sur le plan environnemental, les capteurs peuvent être appliqués à des activités qui engendrent des avantages sociaux. À titre d'exemple, les capteurs servant à prévoir le temps aident les météorologues à prédire les phénomènes météorologiques violents susceptibles de causer des inondations, des vents violents, des sécheresses ou des incendies de forêt. Des capteurs intelligents peuvent être utilisés pour appuyer la chirurgie à distance, améliorant ainsi l'accès à ces services pour les Canadiens vivant en région rurale ou éloignée. (Pour un exemple de capteurs intelligents employés en robotique chirurgicale, voir SSIM, s.d.)

Pratique prometteuse
NEPTUNE – Enrichir les connaissances sur le système océanique

NEPTUNE Canada est un observatoire sous-marin câblé qui recueille des données visant à enrichir les connaissances au sujet du système océanique du Pacifique Nord-Est. Il couvre une région de 450 000 kilomètres carrés dans la partie nord-est de l'océan Pacifique, au large de la côte de la Colombie-Britannique et de l'État de Washington. Un câble de fibre optique de 812 kilomètres de longueur relie cinq plateformes d'instruments installés à divers emplacements géologiques et écologiques, recueillant des données sur les séismes et la tectonique des plaques, l'écoulement des fluides, les processus marins, le changement climatique et la dynamique de l'écosystème en eau profonde, ainsi que des données pour la recherche en génie et la recherche computationnelle (NEPTUNE Canada, 2012). NEPTUNE promeut également l'enseignement en permettant à des étudiants de participer à distance à l'observation océanique (NEPTUNE Canada, 2014).

3.5.2 Systèmes de contrôle

Les systèmes de contrôle sont des dispositifs qui analysent et traitent des données (provenant de capteurs, par exemple) et qui utilisent l'information obtenue pour contrôler d'autres dispositifs ou systèmes. Les systèmes de contrôle

sont utilisés dans de nombreuses solutions durables axées sur les TIC. À titre d'exemple, les systèmes de CVCA (chauffage, ventilation et conditionnement d'air) peuvent être gérés par des systèmes de contrôle qui en améliorent l'efficience globale. Un exemple simple de système de contrôle est le module électronique qui contrôle le système de refroidissement d'un réfrigérateur lorsque la température dépasse un certain seuil. Un contrôleur peut aussi agir directement sur l'environnement par le biais d'un actionneur. Un actionneur est un mécanisme utilisé par un système de contrôle pour convertir un signal en une action physique. Les contrôleurs, en combinaison avec les capteurs,

Encadré 3.2
L'Internet des objets et l'émergence de l'Internet de tous les objets

L'Internet des objets a trait au raccordement en réseau d'objets physiques. Dans le monde de l'Internet des objets, la plupart des objets de la vie quotidienne seront interconnectés (European Research Cluster on the Internet of Things, 2011). D'ici à 2020, 50 milliards d'objets seront reliés de cette façon (Evans, 2012). Les « objets » vont des applications intelligentes pour la maison (p. ex. le contrôle à distance de l'éclairage, de la chaleur, de l'eau), aux appareils ménagers (comme les réfrigérateurs intelligents), aux bases de données, aux contrôleurs, aux centres de données, aux appareils destinés à l'utilisateur final et jusqu'aux véhicules. Plusieurs prédisent une explosion des connexions machine-machine (M-M) dans les années à venir. Cette notion a été élargie par la société Cisco à « l'Internet de tous les objets », où les objets, les personnes, les processus et les données connectés sont considérés dans leur ensemble (Evans, 2012). Les objets organisés en réseau ajoutent à la sensibilité contextuelle et augmentent la puissance de traitement. D'ici 2020, les technologies M-M devraient représenter une industrie de 948 milliards de $US et permettre une réduction de 9 100 Mt éqCO_2 grâce à des gains d'efficience (Cullinen, 2013). Un rapport récent du Carbon War Room et de la société AT&T a évalué le potentiel de réduction d'éqCO_2 dans les secteurs stratégiques suivants : l'énergie, les transports, le milieu bâti et l'agriculture (Cullinen, 2013). Cisco prédit que l'Internet de tous les objets pourrait engendrer une valeur de plus de 14 milliards de $US pour les entreprises et les industries entre 2013 et 2022, en tenant compte à la fois de l'augmentation des revenus et de la réduction des coûts (Bradley *et al.*, 2013).

L'Internet de tous les objets pourrait éventuellement faire apparaître des approches nouvelles à l'organisation économique et sociale, donnant lieu à de nouvelles formes d'emploi, provoquant des changements dans les interactions sociales et suscitant même une plus grande préoccupation pour les questions relatives à la protection de la vie privée.

joueront un rôle de plus en plus grand dans les applications axées sur la durabilité. Tel que décrit dans l'encadré 3.2, dans un proche avenir, 50 milliards d'objets seront reliés à Internet. Ces objets, allant des appareils ménagers aux dispositifs de fabrication, pourront être gérés par des contrôleurs, mais, selon la nature du dispositif, ils pourront eux-mêmes agir comme des contrôleurs ou des capteurs.

3.6 COÛT ENVIRONNEMENTAL DES TIC

Un jour dans la vie

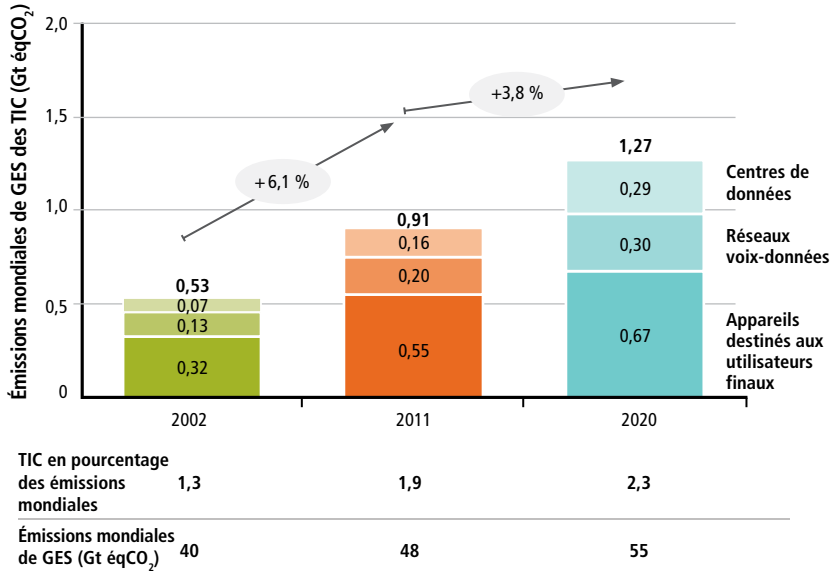
Camille, Montréal

11:00 (HNE)

Camille a récemment pris en charge un projet. Elle développe une application qui peut être installée sur la plupart des appareils intelligents. En communiquant avec les nombreux autres appareils intelligents se trouvant à proximité et avec un serveur centralisé dédié à l'atténuation des catastrophes, le programme maintiendra constamment à jour un manuel d'information destiné à servir en situation d'urgence.

Tel qu'indiqué au chapitre 2, les TIC et les applications fondées sur les TIC pourraient éventuellement améliorer la performance environnementale du Canada, mais elles ont aussi un impact significatif sur l'environnement. Selon les estimations de la GeSI, les émissions globales de GES associées à l'ensemble des TIC ont atteint 910 Mt éqCO_2 en 2010 (GeSI, 2012). Cela correspond approximativement aux émissions annuelles de 178,5 millions de voitures[4]. Chacune des cinq composantes techniques de la plateforme des TIC comporte ses propres coûts environnementaux (voir la figure 3.2). Cependant, ces coûts pourraient être abaissés grâce à des progrès technologiques visant à en réduire l'impact en termes d'utilisation d'énergie et de matériel. Comme l'a noté l'Institut International du développement durable, l'industrie des TIC pourrait adopter une stratégie zéro carbone en combinant de nouvelles technologies (comme les technologies du Web 2.0 axées sur le nuage et les réseaux) avec des centres de données zéro carbone utilisant des sources d'énergie renouvelables et reliés par des réseaux optiques (MacLean et St. Arnaud, 2008). Certaines de ces stratégies sont examinées ci-dessous.

4 Basé sur le fait qu'une voiture de tourisme émet 5,1 tonnes métriques de CO_2 par an (EPA, 2011a).



Reproduit avec la permission de GeSI, 2012

Figure 3.2

Émissions mondiales de gaz à effet de serre (en gigatonnes d'équivalent en dioxyde de carbone) provenant des TIC, selon les calculs de GeSI

Les émissions mondiales des TIC sont réparties entre les appareils destinés aux utilisateurs finaux, les réseaux voix-données et les centres de données. Même si l'on prévoit que les émissions des TIC continueront d'augmenter, le taux de croissance devrait fléchir. Alors que les émissions ont crû de 6,1 % entre 2002 et 2011, le taux de croissance devrait reculer à 3,8 % de 2011 à 2020.

3.6.1 Appareils destinés à l'utilisateur final

L'utilisation croissante des tablettes, des téléphones intelligents et d'autres appareils personnels soulève des questions environnementales complexes. L'énergie utilisée pour produire et faire fonctionner les appareils pour utilisateurs finaux compte pour une part importante des émissions de GES (GeSI, 2012). La forte pénétration commerciale de ces appareils, combinée à un court cycle de vie, est aussi la principale cause des quantités croissantes de déchets électroniques (appareils électroniques jetés aux rebuts). En 2010, les États-Unis ont produit, à eux seuls, 1,79 million de tonnes courtes de déchets électroniques, représentant quelque 310 millions d'appareils. Le recyclage des déchets électroniques demeure limité et est souvent jugé trop coûteux pour être réalisable à grande échelle. On estime qu'en 2009, seulement 25 % de l'ensemble des produits électroniques aux États-Unis ont été récupérés à des fins de recyclage, le reste se retrouvant dans des sites d'enfouissement et des incinérateurs (EPA, 2011b). En outre, de nombreux appareils électroniques contiennent des substances toxiques, dont les métaux de transition employés

dans les téléphones cellulaires (comme le plomb et le cadmium) qui peuvent contaminer la terre et l'eau si elles ne sont pas éliminées de façon appropriée. En conséquence, les déchets électroniques représentent déjà plus des deux tiers des métaux lourds et plus de 40 % du plomb retrouvé dans les sites d'enfouissement aux États-Unis (Grossman, 2007). Enfin, les appareils destinés à l'utilisateur final contribuent directement ou indirectement à une utilisation importante et croissante d'électricité, laquelle est nécessaire pour faire fonctionner ces appareils et, ce qui est encore plus important, pour assurer l'interconnectivité et les transferts de données que requiert leur utilisation. L'analyse du cycle de vie et l'analyse sociale du cycle de vie sont des outils qui peuvent servir à évaluer les effets environnementaux et sociaux des technologies. Ces outils sont examinés plus en détail au chapitre 5.

3.6.2 Données

Les données ont elles-mêmes une empreinte environnementale. L'explosion des données provenant des réseaux filaires et sans fil est à l'origine d'une utilisation croissante d'énergie, alors que les réseaux de télécommunications doivent transmettre de plus en plus de données. Les émissions de GES des réseaux représentaient 22 % de l'ensemble des émissions des TIC dans le monde en 2011 (GeSI, 2012).

3.6.3 Télécommunications, stockage et infrastructure de traitement

L'ossature de la plateforme des TIC — les réseaux de télécommunications, le stockage dans le nuage et l'infrastructure de traitement — pose toute une variété de défis environnementaux. Bien qu'ils soient relativement invisibles pour de nombreux utilisateurs, les réseaux sans fil consomment une quantité importante d'énergie. Ainsi, les stations LTE (Long Term Evolution) consomment 3,7 kilowatts (en comparaison, un appareil de chauffage consomme environ 0,75 kilowatt) (Vereecken *et al.*, 2011; Département américain de l'Énergie, 2013). Plusieurs options s'offrent pour améliorer l'efficience énergétique et abaisser les frais d'exploitation des réseaux de télécommunications : la photonique verte, le contrôle adaptatif, le traitement adaptatif efficient de l'énergie, ainsi que le déplacement des activités de stockage et de traitement vers le nuage. L'empreinte environnementale des centres de données est elle-même significative, ce qui annule certains des avantages environnementaux de la centralisation du stockage et du traitement des données dans le nuage. De grandes quantités d'électricité sont requises pour faire fonctionner les processeurs informatiques qu'abritent ces centres, ainsi que les systèmes de climatisation requis pour refroidir les serveurs et autres équipements. Au niveau mondial, on estime que les centres de données consommaient environ 1 % de l'électricité utilisée en 2005 (Koomey, 2008). La GeSI prédit qu'avec le déplacement croissant des données et des applications vers le nuage, l'empreinte des centres de données

augmentera de 7,1 % par an pour atteindre 290 Mt éqCO_2 en 2020 (GeSI, 2012). Néanmoins, les centres de données offrent une occasion réelle de réduire de façon significative l'impact global des TIC sur l'environnement. Certains centres de données ont été construits pour répondre à des exigences économiques et environnementales spécifiques, comme le Centre de données Internet de TELUS à Kamloops, qui devrait avoir une cote d'efficience pour l'utilisation annuelle d'énergie de 1,15, nécessitant 80 % moins d'énergie qu'un centre de taille comparable (TELUS, 2012).

3.6.4 Capteurs

Comme les appareils destinés à l'utilisateur final, les capteurs ont un impact sur l'environnement par le biais des matières qui entrent dans leur fabrication et de l'énergie qu'ils consomment pour fonctionner. Le rayon de transmission d'un capteur se mesure habituellement en quelques dizaines de mètres, l'information se déplaçant successivement au sein d'un réseau de nœuds de capteurs pour couvrir de longues distances. Les capteurs sans fil consomment environ 20 milliwatts (ce qui est inférieur à ce que consomme habituellement un appareil destiné à l'utilisateur final). À l'heure actuelle, les piles (rechargeables ou non) sont la source d'énergie la plus couramment employée pour les nœuds de capteurs sans fil. Il existe aussi d'autres méthodes écologiquement plus douces pour fournir aux capteurs l'énergie requise. À titre d'exemple, les cellules à énergie solaire peuvent produire environ 10 milliwatts par centimètre carré lorsqu'elles sont placées à l'extérieur, tandis que les sources d'énergie mécaniques (p. ex. la vibration des fenêtres) peuvent produire environ 100 microwatts (Culler *et al.*, 2004). À mesure que diminue la taille des semi-conducteurs placés à l'intérieur des capteurs, ceux-ci consomment moins d'énergie, requièrent une moins grande surface et leur production peut nécessiter moins de matière.

3.7 MISER SUR LES ATOUTS CANADIENS

3.7.1 Centres de données verts

Le Canada a une occasion unique de jouer un rôle de chef de file en hébergeant des centres de données verts, lesquels seront au cœur de l'Internet du futur et représenteront de façon plus générale une importante plateforme habilitante pour la durabilité dans un monde connecté. Les centres de données verts sont un volet clé des efforts visant à réduire au minimum l'impact des TIC sur l'environnement. Le nuage nous offre l'occasion de centraliser les processus grâce à la virtualisation des serveurs, l'impression dans le nuage ou la virtualisation des réseaux, et il permet de rendre ces processus plus efficients (voir l'encadré 3.3). Cependant, pour que le nuage offre l'opportunité de contribuer à la durabilité, il importe d'accorder une attention particulière au type d'énergie qui alimente les centres de données. Ce problème peut être résolu en partie en localisant

les centres de données dans des régions bénéficiant d'un climat frais et de sources d'énergie à faibles émissions de GES; le Canada possède un avantage concurrentiel dans ces deux domaines.

L'abondance de l'énergie à faibles émissions de GES au Canada

Les centres de données peuvent réduire considérablement leur empreinte environnementale s'ils sont implantés là où l'électricité provient de sources non émettrices de GES. De nombreuses régions canadiennes disposent d'énergie électrique provenant de sources qui ont de faibles émissions de GES. La majorité des besoins en électricité du Canada est assurée par l'hydroélectricité (environ 54 % de la production totale), cette source représentant jusqu'à 87 % ou plus de l'électricité produite en Colombie-Britannique, au Yukon, au Manitoba, au Québec et à Terre-Neuve-et-Labrador (Baker *et al.*, 2011). En outre, des sources d'énergie renouvelables, plus particulièrement l'énergie éolienne, sont de plus en plus intégrées au réseau d'approvisionnement en électricité (Baker *et al.*, 2011). Plusieurs régions du pays ont le potentiel de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement des centres de données à faible niveau d'émissions.

L'avantage d'un climat frais

Le Canada est aussi l'endroit idéal pour implanter des centres de données en raison du climat tempéré et frais qui prévaut dans plusieurs régions du pays. L'accès à une source de refroidissement gratuite peut réduire les besoins en installations de climatisation coûteuses et énergivores dans les grands centres de données. Ainsi, des fournisseurs de services tels que Facebook et Microsoft construisent des centres de données dans des pays où le climat est frais dans le but de réduire les coûts de refroidissement (Network Computing, 2013). Il est aussi possible d'utiliser la chaleur résiduelle provenant d'une concentration de centres de données comme source de chaleur. À titre d'exemple, Le Seattle Office of Sustainability & Environment travaille à un projet de recyclage de la chaleur résiduelle provenant des centres de données situés à proximité de la ville pour alimenter un système de chauffage communautaire (Network Computing, 2013).

Avantages économiques et sociaux

En saisissant l'occasion de marché qu'offrent les centres de données verts, les entreprises canadiennes peuvent engendrer d'importants avantages économiques et sociaux. La construction, le fonctionnement et l'entretien de ces centres créeront des emplois et injecteront des fonds dans l'économie locale. Ainsi, le Centre informatique phare de la société IBM Canada, d'une superficie de 25 000 pieds carrés, ouvert en 2012 a représenté un investissement de 90 millions de dollars à Barrie, en Ontario (IBM, 2012). Outre les emplois durant la phase de construction, le nouveau centre de données a créé 20 emplois spécialisés

Encadré 3.3
Virtualisation des réseaux et centres de données verts

La virtualisation des réseaux est la mise en application d'une fonction de réseau (un logiciel pouvant fonctionner sur un serveur au lieu d'être exploité directement sur du matériel). Les serveurs peuvent être situés dans des centres de données, à des nœuds du réseau ou dans les locaux de l'utilisateur final (Chiosi *et al.*, 2012). Un des avantages inhérents à la virtualisation est la capacité de choisir où seront exécutés les processus virtuels. Ainsi, les utilisateurs d'une région qui dépend du charbon pour son électricité peuvent décider d'exécuter la fonction de réseau virtualisé sur des serveurs situés à des endroits où de l'énergie propre est disponible plutôt que sur leurs ordinateurs personnels. La virtualisation comporte également des avantages économiques. Elle peut réduire les coûts en matériel et le délai de commercialisation ainsi qu'accroître la compétitivité sur le marché en ouvrant « le marché des appareils virtuels à de nouveaux entrants spécialisés dans les logiciels, à de petits acteurs et au milieu universitaire » (Chiosi *et al.*, 2012).

Une approche centrée sur la virtualisation qui profite de l'installation de centres de données dans des régions utilisant de l'électricité à faibles (ou sans) émissions est le réseau canadien GreenStar (Lemay *et al.*, 2012). Ce projet pilote financé par CANARIE réunit des participants du milieu universitaire, du secteur privé et du gouvernement. Un projet connexe de TIC vertes, appelé Équation, est une autre collaboration public-privé regroupant de multiples partenaires, qui vise à développer des technologies de réseau dans le nuage offrant la même robustesse et la même qualité de service qu'un réseau de télécommunications classique (Prompt Inc., 2013). Cela englobe le matériel et les logiciels requis par les exploitants de services de télécommunications et les centres de données pour gérer le réseau dans le nuage, tout en réduisant la consommation d'énergie. En misant sur le concept GreenStar, les centres de données peuvent évaluer leur consommation d'énergie et capitaliser sur les sources d'énergie renouvelables (solaire, éolienne et hydraulique) pour faire fonctionner le réseau.

dans la région (Techvibes, 2012). En juin 2013, la société Ericsson a annoncé qu'elle dépensera une somme estimée à 1,2 milliard de dollars pour construire et équiper un nouveau centre de données de R-D de 40 000 mètres carrés à Vaudreuil-Dorion (Québec). Soixante nouveaux emplois seront créés grâce à cet investissement (Van Praet, 2013). Bien que les centres de données aient un impact relativement modeste sur l'emploi, leurs avantages socioéconomiques indirects peuvent être importants s'ils sont associés à une stratégie globale d'économie numérique comportant l'accès universel au service à large bande.

3.8 CONCLUSION

Dans ce chapitre, le comité d'experts a examiné cinq composantes techniques qui constituent la plateforme des TIC dans la feuille de route du rapport du comité (revoir la figure 1.1). Ces cinq composantes techniques sont : les appareils destinés à l'utilisateur final; les données; les applications et l'analytique de données; les télécommunications, le stockage et l'infrastructure de traitement; les capteurs et les systèmes de contrôle. Le chapitre scrute l'impact croissant qu'ont les TIC elles-mêmes sur l'environnement en suggérant une voie possible qui s'offre au Canada pour atténuer certains de ces effets grâce à des centres de données verts.

Le prochain chapitre décrit certaines possibilités issues des TIC qui favoriseraient la durabilité, à travers le prisme de six domaines thématiques clés définis par le comité d'experts (voir la section 1.3). Toutes les possibilités reposent sur les composantes de la plateforme des TIC décrites dans le présent chapitre. Le chapitre 4 offre des exemples de la puissance transformatrice de ces cinq composantes pour promouvoir la durabilité lorsqu'elles sont mises en œuvre intelligemment. Le comité d'experts tient à souligner que même si ces composantes doivent être vues comme des entités distinctes possédant un potentiel de promotion de la durabilité, leur véritable capacité transformationnelle provient d'une mise en œuvre et d'une utilisation conjointes.

4

Possibilités interconnectées issues des TIC concourant à la durabilité

- Surveillance de l'environnement
- Services publics intelligents interconnectés
- Bâtiments et voisinages intelligents interconnectés
- Mobilité intelligente interconnectée
- Production intelligente interconnectée
- Des gens en santé et des collectivités dynamiquess
- Conclusion

4 Possibilités interconnectées issues des TIC concourant à la durabilité

Principales constatations

- La surveillance intelligente de l'environnement peut transformer la capacité du Canada de prendre des décisions reposant sur des données probantes et de résoudre des problèmes de nature environnementale, sociale ou liés aux ressources naturelles.
- Les services publics intelligents interconnectés exploitent déjà davantage les infrastructures vieillissantes, ouvrant la porte à de nouvelles technologies et donnant à l'utilisateur final la possibilité de faire des choix. Exploiter tous les avantages offerts par les réseaux intelligents pourrait avoir un pouvoir transformateur, changeant la façon dont les services publics sont produits et fournis partout au Canada — en réduisant au minimum les effets sur l'environnement, notamment les pertes d'eau et d'électricité durant le transport, en abaissant les coûts pour les exploitants et les consommateurs, et en assurant la fiabilité du service.
- Les bâtiments consomment beaucoup d'énergie au Canada, et un certain nombre sont bien équipés en TIC. Les systèmes de contrôle des bâtiments intelligents pourraient produire rapidement des gains environnementaux et économiques importants.
- Connecter les voisinages à des réseaux intégrés et interconnectés de fonctions (p. ex. des systèmes intégrés pour l'énergie, l'eau ou la gestion des déchets à l'échelle du voisinage) pourrait permettre de fournir des services de manière plus efficiente et socialement et écologiquement bénéfique.
- Les possibilités inhérentes à la mobilité intelligente interconnectée pourraient améliorer la capacité du Canada de se doter de systèmes de transport et de logistique plus efficients sur les plans environnemental et économique.
- La surveillance, la planification des processus et le contrôle intégrés par le biais des TIC pourraient contribuer à améliorer la performance environnementale et la productivité en agriculture et dans la fabrication, en faisant passer l'optimisation du niveau de l'unité individuelle à celui du système.
- Les TIC peuvent servir à faire face à des défis sociaux et faciliter l'avènement de nouvelles formes de prise de décision et de gouvernance participatives. Ces changements pourraient renforcer et accélérer les améliorations décrites pour la surveillance de l'environnement, les services publics, les bâtiments, la mobilité et la production, et contribuer directement à l'amélioration du bien-être humain en termes notamment d'accessibilité et de prestation des services de santé et d'éducation.

POSSIBILITÉS OFFERTES PAR LES TIC INTERCONNECTÉES

Les TIC ont déjà révolutionné la façon dont les gens communiquent entre eux, prennent des décisions et accomplissent des activités dans leur vie quotidienne. En appliquant efficacement les composantes techniques examinées au chapitre 3, les TIC pourraient avoir une incidence positive et transformatrice sur différents aspects de la vie et aider le Canada à évoluer vers la durabilité. Les possibilités liées aux TIC suscitent l'enthousiasme parce que leur potentiel n'est limité que par l'imagination humaine. Le potentiel des TIC vient aussi de la vitesse étonnante à laquelle elles peuvent s'intégrer à divers aspects de la vie. Des technologies tout à fait nouvelles il y a quelques années seulement, comme les tablettes et les téléphones intelligents, sont devenues monnaie courante.

Le mandat du comité d'experts était de reconnaître les occasions existantes et potentielles d'utiliser les TIC pour parvenir à la durabilité au Canada. À la vitesse à laquelle les TIC évoluent, prédire l'avenir de la technologie constitue un véritable défi. Le comité d'experts a donc choisi de mettre en évidence certains domaines où les TIC ont déjà démontré le potentiel de provoquer un changement positif important. Le comité a par ailleurs adopté la définition de la durabilité présentée au chapitre 1 : pour avoir le plus grand impact, les possibilités doivent être bénéfiques sur les plans économique, environnemental et social. Les critères énoncés dans l'encadré 4.1 (sans ordre particulier) ont été utilisés pour aider à cerner les possibilités à explorer.

Le comité d'experts n'a pas cherché à classer les possibilités selon ces critères, mais a plutôt sélectionné celles qui pourraient engendrer des avantages environnementaux, économiques et sociaux clairs pour le Canada. Comme les possibilités liées aux TIC ne se limitent pas à un secteur traditionnel unique de l'économie, une approche ciblant des secteurs strictement définis serait trop restrictive. Au lieu de cela, le comité d'experts a regroupé les possibilités dans des domaines thématiques généraux qui reflètent et englobent la nature multidisciplinaire du sujet, et qui ont un lien avec les besoins, les fonctions et les activités de la société. Le comité a estimé qu'une approche thématique serait appropriée pour exposer le potentiel d'intégration des possibilités mises en relief.

Encadré 4.1
Critères de sélection des possibilités liées aux TIC concourant à la durabilité

Impact sur l'environnement
- Réduction de la pollution
- Effet sur la consommation d'énergie
- Effet sur les ressources (eau, énergie, utilisation des terres, etc.)
- Effet sur la biodiversité et les services écosystémiques

Impact socioéconomique
- Impact sur l'emploi
- Développement économique
- Débouchés sur le marché mondial
- Réduction des coûts pour les particuliers, les entreprises et les gouvernements
- Possibilités d'engagement communautaire et de participation politique
- Amélioration de la santé
- Amélioration de l'accès à plus de possibilités sociales et économiques
- Amélioration de l'accès à l'information

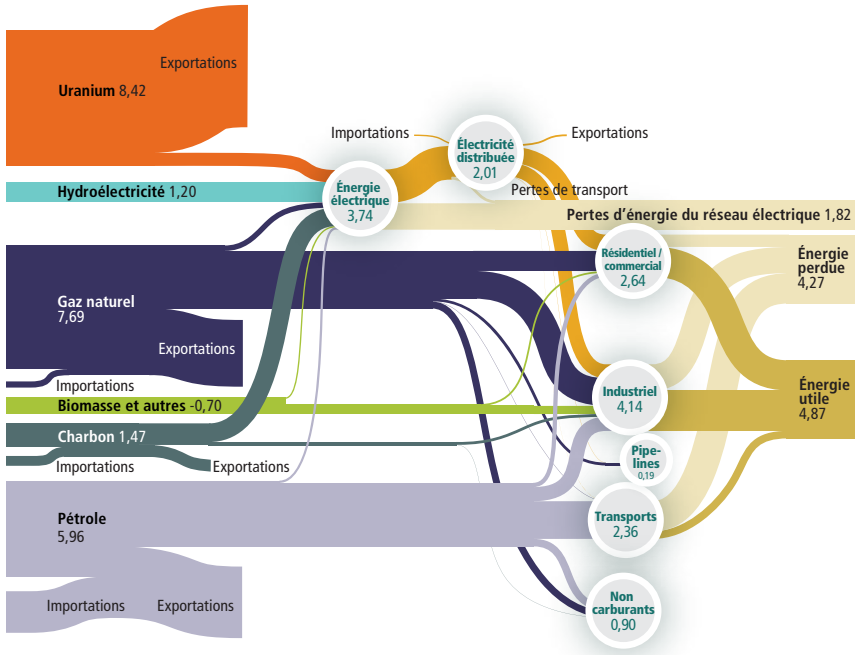
Approche thématique

Le comité d'experts a retenu six domaines thématiques clés où, au moins en partie, l'utilisation efficace des TIC et des applications fondées sur les TIC pourrait jouer un rôle clé : la surveillance de l'environnement; les services publics intelligents interconnectés; les bâtiments et voisinages intelligents interconnectés; la mobilité intelligente interconnectée; la production intelligente interconnectée; des gens en santé et des collectivités dynamiques. Ces domaines thématiques ont été retenus parce qu'ils :

- sont directement liés aux activités quotidiennes auxquelles participent les Canadiens;
- incluent des possibilités importantes où les TIC pourraient profiter à chacun des trois piliers de la durabilité;
- facilitent la réflexion dans tous les secteurs et démontrent les liens entre ceux-ci;
- permettent de voir les avantages potentiels des TIC à travers différentes lentilles, parce que les TIC peuvent intégrer des solutions dans un large éventail de secteurs;
- peuvent être illustrés par des pratiques innovantes développées au Canada et/ou à l'étranger.

L'amélioration de l'efficience est un dénominateur commun des domaines thématiques. De nombreuses possibilités liées aux TIC qui sont examinées ici produisent des avantages en réduisant des pertes, par exemple le gaspillage

d'électricité dans les bâtiments, d'essence dans les transports et d'eau dans les conduites de distribution. Un exemple des pertes qui peuvent se produire entre le lieu de production et l'utilisateur est illustré à la figure 4.1, qui montre le cycle des sources d'énergie au Canada, de l'extraction primaire à l'utilisation finale. La figure indique non seulement où l'énergie finit par être utilisée, mais révèle aussi qu'une quantité importante d'énergie est perdue en cours de route. Alors qu'une grande partie de cette perte est inhérente au processus de conversion de l'énergie et ne peut être évitée, une autre partie des pertes est imputable à des éléments d'inefficience qui pourraient être corrigés (Groupe consultatif national sur les sciences et les technologies relatives à l'énergie durable, 2006).



Adapté d'une figure publiée dans le Rapport du Groupe consultatif national sur les sciences et technologies liées à l'énergie durable, 2006, avec la permission du Bureau de recherche et de développement énergétiques, Ressources naturelles Canada

Figure 4.1

Flux d'énergie au Canada, 2003

Au Canada, l'énergie est produite par diverses sources et elle est utilisée de plusieurs façons différentes. Cependant, une bonne partie de cette énergie est perdue; même si certaines pertes sont inhérentes au processus de conversion de l'énergie, d'autres résultent de facteurs d'inefficience qui sont évitables. Les valeurs énergétiques sont exprimées en exajoules.

L'importance des changements systémiques et comportementaux est également soulignée au moment d'examiner chaque domaine thématique, parce que ces changements pourraient être ceux qui auront le plus grand impact à long terme.

Pour chaque domaine thématique, le comité d'experts examine l'incitation à mettre en œuvre des solutions axées sur les TIC : les déterminants de la durabilité (p. ex. les émissions de GES); certaines possibilités où les TIC pourraient avoir des effets positifs en termes de durabilité, y compris des exemples de pratiques prometteuses canadiennes ou étrangères; et, brièvement, certaines des difficultés qui pourraient entraver l'adoption des possibilités issues des TIC aux fins de la durabilité. La liste des défis n'est pas exhaustive pour chaque domaine thématique, mais sert plutôt à mettre en relief certains des défis les plus importants pour les débouchés des TIC examinés. Lorsqu'elles sont disponibles, des données quantitatives, par exemple sur le niveau des émissions de GES ou la quantité d'eau utilisée, sont fournies. Le manque de données dans de nombreux cas met en lumière la nécessité d'une surveillance environnementale ciblée.

Dans la plupart des industries ou des secteurs, la maturation de la technologie se déroule généralement en cinq étapes (voir l'encadré 4.2). Bien que celles-ci n'aient pas été explicitement employées dans l'analyse des possibilités, le comité d'experts reconnaît que ces étapes pourraient s'avérer un outil utile pour repérer les progrès technologiques attendus dans un domaine donné.

Encadré 4.2
Le cheminement vers la maturation des technologies

Le cheminement vers la maturation des technologies englobe généralement cinq étapes. Les possibilités liées aux TIC examinées dans chaque domaine thématique se situent à différentes étapes de ce processus de maturation. Ces étapes sont :

- la saisie des données d'instrumentation et de terrain;
- la gestion et l'intégration des données;
- les alertes intelligentes et la gestion des événements;
- l'analyse et la prévision avancées;
- l'optimisation des actifs

(IBM, 2011)

Il existe des liens évidents entre les six domaines thématiques :

- L'utilisation ciblée des TIC pour la surveillance environnementale peut conduire à une meilleure compréhension de l'environnement naturel, en fournissant les renseignements de base nécessaires au suivi de l'efficacité de toute nouvelle initiative environnementale, ou pour extraire des ressources naturelles d'une manière moins dommageable pour l'environnement.
- L'infrastructure qui sert à livrer les services fournis par ces ressources naturelles (p. ex. l'électricité d'origine hydraulique ou l'eau potable) peut être révolutionnée par les TIC, menant à des services intelligents interconnectés.
- Ces services publics, notamment l'électricité, l'eau et le gaz, sont utilisés par des personnes dans les bâtiments où elles vivent, travaillent et se divertissent. Les applications des TIC peuvent aider à construire des bâtiments et des collectivités intelligents interconnectés en donnant aux bâtiments l'intelligence requise pour améliorer le confort des occupants tout en utilisant les services publics de façon plus efficiente, et en fournissant des outils pour accroître l'efficience et l'efficacité en visualisant ces différents bâtiments comme faisant partie d'un réseau unique.
- La mobilité intelligente interconnectée appuyée par les TIC permet aux gens et aux biens de circuler dans ces voisinages de façon plus économique, écologique et efficace que lorsqu'ils se déplacent dans une ville, entre les provinces ou d'un océan à l'autre.
- Les biens circulant sur l'Internet mobile peuvent être fabriqués (ou cultivés) de façon plus efficiente en ayant recours à la production intelligente interconnectée.
- Enfin, les applications des TIC les plus importantes pour la durabilité, peu importe ce qu'elles visent (p. ex. les transports, l'énergie ou les bâtiments), ont aussi des avantages sociaux clairs qui favorisent des gens en santé et des collectivités dynamiques.

Le comité d'experts est d'avis que l'accent mis sur certains domaines thématiques constitue une approche informative, convaincante et éloquente pour l'identification et l'analyse des possibilités offertes par les TIC. Il reconnaît toutefois qu'il y a d'autres moyens valables de présenter ce genre de possibilités. Bien que certains secteurs ne soient pas inclus explicitement dans l'examen, cela ne veut pas dire qu'il n'existe pas de possibilités dans ces secteurs.

4.1 SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

La surveillance de l'environnement est définie par les Nations Unies (2003) comme « une activité entreprise pour fournir des renseignements spécifiques sur les caractéristiques et les fonctions de variables environnementales et sociales dans l'espace et dans le temps ». [Traduction] Les programmes modernes de surveillance de l'environnement utilisent souvent des données d'observation sur le terrain pour développer des capacités de modélisation et de prévision efficaces ou les améliorer. Une surveillance efficace protège la sécurité des Canadiens (p. ex. en veillant à ce que l'eau potable soit sécuritaire), fournit des données de base sur l'état actuel de l'environnement au Canada et mesure l'évolution de la salubrité de l'environnement.

Le comité d'experts a choisi d'examiner la surveillance environnementale en premier lieu parce qu'elle a une importance fondamentale pour toutes les possibilités subséquentes. Il est impossible de comprendre et de mesurer l'impact (bon ou mauvais) de l'activité humaine sur l'environnement en l'absence de données de base sur son état actuel. Des données de base sont nécessaires pour surveiller la façon dont l'environnement change au fil du temps, l'impact d'activités particulières sur les différentes dimensions de l'environnement et l'efficacité des applications destinées à améliorer la salubrité de l'environnement. Les données de surveillance de l'environnement peuvent aussi être utilisées dans de nombreuses applications offrant des avantages supplémentaires. Notamment, une compréhension plus complète de l'environnement naturel peut aider à améliorer l'efficacité de l'extraction des ressources et réduire au minimum les répercussions environnementales. La surveillance des indicateurs sociaux et de ceux de la santé est tout aussi importante et pertinente, mais l'accent est mis ici sur la surveillance de l'environnement.

Un jour dans la vie

Jurgen, Whitehorse

10:00 (HNP)

À Whitehorse, Jurgen parcourt une carte 3D du réseau électrique autour de son usine. Il a examiné les documents qu'il a reçus de Deena, une gestionnaire de réseau intelligent à Vancouver, et préparé ses propres remarques pour la visite qu'elle doit faire dans deux jours. La mise à niveau d'un réseau de surveillance environnemental répondant aux spécifications du gouvernement n'est ni bon marché ni facile. Le processus ne peut pas être exécuté par étapes, et mettre le réseau hors ligne coûte cher. Mais il y a d'importants avantages à disposer de capteurs pouvant communiquer directement avec les réseaux du gouvernement. En outre, les avantages fiscaux qui découlent de lectures environnementales plus actuelles et précises sont substantiels. Bien que l'usine de Jurgen suive les meilleures pratiques établies en matière d'environnement, il n'y a pas deux écosystèmes qui soient identiques et les priorités changent avec le temps.

Une fois le système mis en ligne, le gouvernement aura directement accès à toutes les données qu'il recueille. En retour, l'entreprise de Jurgen aura accès à l'information de l'ensemble du réseau en temps réel. En plus des avantages fiscaux de la participation au réseau, le gouvernement et d'autres fabricants semblent reconnaître que la motivation principale est de développer l'interopérabilité. Les pénalités pour les infractions de nature environnementales sont très lourdes, et elles sont imposées à la fois par le gouvernement et les consommateurs.

Les cinq composantes techniques introduites au chapitre 3 jouent un rôle important dans la surveillance de l'environnement. Les capteurs sont l'épine dorsale de plusieurs systèmes de surveillance de l'écosystème, ou peuvent en améliorer l'efficacité. Les réseaux de télécommunications permettent aux données de circuler entre le capteur et l'endroit où elles seront analysées et diffusées largement. Les données sont souvent stockées dans le nuage et y sont traitées en utilisant des programmes virtualisés. Comme l'un des avantages des capteurs est leur potentiel de recueillir de grandes quantités de données, le nuage est particulièrement nécessaire parce qu'il permet de conserver les données indéfiniment. Les applications et l'analytique de données garantissent par ailleurs que toutes les données recueillies seront utilisées de la manière la plus bénéfique possible. Enfin, dans le contexte de la surveillance de l'environnement, les appareils destinés aux utilisateurs finaux sont nécessaires pour analyser les données et peuvent eux-mêmes servir de capteurs, par le biais de l'externalisation ouverte.

Les TIC peuvent améliorer considérablement les systèmes de surveillance de l'environnement, car ils permettent de recueillir de grandes quantités de données dans un délai et à un coût raisonnables. À l'heure actuelle, les TIC jouent un rôle important dans la surveillance de l'environnement dans des applications aussi variées que la détection de la contamination de l'eau ou de l'air, le suivi des déplacements des oiseaux et de la faune, et la gestion du climat (p. ex. la pression atmosphérique et le vent).

4.1.1 Déterminants de la surveillance de l'environnement au Canada

La difficulté qu'a eue le comité d'experts à obtenir des données quantitatives sur l'environnement aux fins de la rédaction de ce rapport met en évidence les lacunes au niveau de l'existence ou de la disponibilité des données environnementales au Canada (ces lacunes ont été relevées par d'autres auteurs, dont Hyde *et al.*, 2010). Disposer de données de base précises sur la salubrité de l'environnement au fil du temps, sur les émissions et sur l'utilisation des services publics tels que l'électricité et l'eau, peut comporter de nombreux avantages. Ainsi, la surveillance environnementale peut faciliter une variété de tâches dont la responsabilité incombe au gouvernement, y compris la conception de programmes environnementaux efficaces, une répartition efficiente des ressources, l'évaluation de la conformité à la réglementation environnementale et la détection précoce des problèmes (Bureau du vérificateur général du Canada, 2011). Les données environnementales peuvent également servir de complément ou d'aide à la recherche scientifique et à la planification urbaine, et elles peuvent être utilisées par les responsables de la santé publique. Plusieurs de ces fonctions peuvent également apporter des avantages aux particuliers et aux entreprises.

Les données de surveillance de l'environnement peuvent être utilisées par des acteurs autres que le groupe (p. ex. le gouvernement) qui les recueille. La météo est un exemple. Recueillies par le gouvernement fédéral, les données météorologiques sont abondamment utilisées par des particuliers et des entreprises. Ces données sont recueillies par l'un des réseaux de surveillance météorologique du Canada et, en combinaison avec la modélisation, elles sont utilisées par de nombreux organismes de l'extérieur pour faire des prévisions météorologiques quotidiennes. Les données climatiques sont également employées par les trois ordres de gouvernement à des fins de planification à long terme, en fournissant des informations sur les risques potentiels pour l'environnement dans une région. À titre d'exemple, les données historiques sur les précipitations ainsi que la modélisation sont des outils essentiels pour élaborer la réglementation sur la protection contre les inondations (Environnement Canada, 2013b). Les TIC jouent aussi un rôle important dans les prévisions météorologiques de haute précision, qui peuvent

servir à prédire les tendances de la météo et contribuer ainsi à la planification et à l'atténuation de l'impact des phénomènes météorologiques extrêmes (p. ex. des précipitations au-dessus de la moyenne) (Mauree, 2011). L'importance des TIC pour les prévisions météorologiques ressort de leur utilisation dans le système de veille météorologique mondiale, décrit à l'encadré 4.3.

Encadré 4.3

Principales composantes du système de veille météorologique mondiale de l'Organisation météorologique mondiale*

- **Le système mondial d'observation** fournit des observations sur l'atmosphère et la surface de l'océan de partout dans le monde.
- **Le système mondial de télécommunication** permet l'échange de données météorologiques entre les services nationaux en temps réel.
- **Le système mondial de traitement des données et de prévision** fournit des analyses météorologiques, des prévisions et des avertissements produits par un réseau de centres météorologiques mondiaux et de centres météorologiques régionaux.

(Mauree, 2011)

** Pour plus d'information, voir l'Organisation météorologique mondiale, s.d.*

Les données de surveillance peuvent également être utilisées dans des applications qui aident à protéger la santé humaine. Ainsi, des capteurs de la qualité de l'air peuvent recueillir les données nécessaires pour émettre un avis de smog. Le ministère de l'Environnement de l'Ontario utilise son réseau de 40 sites de surveillance de l'indice de la qualité de l'air pour recueillir des données horaires sur la concentration de plusieurs polluants atmosphériques (Ministère de l'Environnement, 2011). Lorsque les concentrations dépassent un certain seuil dans une ville, l'administration locale diffuse un avis de smog pour alerter les citoyens sur la mauvaise qualité de l'air (Ville de Toronto, s.d.). Les données relatives à la qualité de l'air peuvent aussi être combinées à des données sur la santé pour déceler des tendances et élaborer des programmes efficaces (voir l'encadré 4.11).

Un autre facteur important pour obtenir de meilleures données sur l'environnement par le biais de la surveillance est la valeur des écosystèmes naturels eux-mêmes. Cela est particulièrement vrai au Canada puisque le pays abrite de nombreux écosystèmes naturels (p. ex. des lacs d'eau douce, la forêt boréale) et que les ressources naturelles jouent un rôle important dans son économie. En fait, les industries axées sur les ressources naturelles ont été à

l'origine de 11,5 % du PIB canadien en 2010 et elles employaient directement plus de 760 000 personnes (Ressources naturelles Canada, 2011). La notion de services écosystémiques peut être utilisée pour représenter la valeur créée par les différents écosystèmes de manière concrète et accessible. Les services que procurent les écosystèmes sont définis dans l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (2005) comme étant « les bénéfices que les humains tirent des écosystèmes. Ceux-ci comprennent des services de prélèvement tels que la nourriture, l'eau, le bois de construction, et la fibre; des services de régulation qui affectent le climat, les inondations, la maladie, les déchets, et la qualité de l'eau; des services culturels qui procurent des bénéfices récréatifs, esthétiques, et spirituels; et des services d'auto-entretien tels que la formation des sols, la photosynthèse, et le cycle nutritif ».

Bien qu'il soit difficile d'attribuer une valeur monétaire à de nombreux services écosystémiques (p. ex. les services esthétiques ou culturels), les estimations des valeurs qui peuvent être quantifiées offrent des illustrations remarquables de la valeur obtenue à partir des différents écosystèmes. À titre d'exemple, l'Institut Pembina et l'Initiative boréale canadienne ont estimé la valeur de l'ensemble des services écologiques hors marché de la forêt boréale canadienne à plus de 700 milliards de dollars, dont la plus grande partie est représentée par le stockage du carbone dans les zones humides (Anielski et Wilson, 2009). Les services écosystémiques sont aussi un rappel utile du fait que l'environnement peut souvent offrir un service à un coût inférieur (c.-à-d. gratuitement) à ce qu'il aurait été si des gens s'en étaient chargés. Ainsi, le coût du maintien — voire de la restauration — des zones humides est souvent beaucoup moins élevé que la construction d'une nouvelle usine de traitement d'eau, parce que les zones humides filtrent l'eau naturellement (Anielski et Wilson, 2009).

Les gouvernements ont reconnu l'importance et l'utilité de l'évaluation des services écosystémiques en créant l'initiative Économie des écosystèmes et de la biodiversité (TEEB). Cette initiative émane d'une réunion des ministres de l'Environnement des pays du G8+5 en 2007, où l'importance de comprendre l'impact économique négatif de la perte de biodiversité et la dégradation des écosystèmes a été reconnue (TEEB, s.d.).

Selon le Bureau du vérificateur général du Canada (2011), le gouvernement fédéral dépense plus de 500 millions de dollars annuellement pour des activités de surveillance de l'environnement, qui sont menées par 2 500 personnes à travers le Canada. L'étude a répertorié 94 systèmes de surveillance au total (systèmes ou groupes de systèmes individuels). De ceux-ci, 32 étaient liés à des plantes et des animaux, 20 à l'air et à l'atmosphère et 19 à l'eau.

En 2009, la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) a signalé une diminution de l'effort de surveillance météorologique et de surveillance des écosystèmes au Canada au cours des 15 années précédentes (TRNEE, 2009). Le Nord canadien a été particulièrement touché, le nombre de stations de surveillance ayant diminué de façon marquée entre 1994 et 2008. En outre, la TRNEE a noté que la région était déjà affectée par des méthodes de collecte des données incohérentes et une couverture de la surveillance limitée dans le temps et dans l'espace avant même la réduction du nombre de stations de surveillance (TRNEE, 2009).

Le secteur privé participe aussi à la surveillance environnementale au Canada. À titre d'exemple, l'Ecological Monitoring Committee for the Lower Athabaska (EMCLA) a supervisé la mise en œuvre et le déroulement de certains programmes de surveillance dans la région de planification du Bas-Athabasca depuis 2010 (EMCLA, s.d.). L'EMCLA regroupe des représentants d'Environnement Canada, d'Alberta Environment and Sustainable Resource Development et d'entreprises privées présentes dans la région des sables bitumineux du Bas-Athabasca. L'organisation vise à améliorer la qualité de la surveillance pour répondre aux exigences de certains articles sur la biodiversité et la faune de *l'Environmental Protection and Enhancement Act* pour la mise en valeur des sables bitumineux (EMCLA, s.d.).

Les efforts du secteur privé ne peuvent remplacer toute la surveillance publique. La transparence des activités de surveillance suscite la confiance du public à l'égard des données recueillies. Le gouvernement de l'Alberta a reconnu ce fait et a annoncé qu'il envisageait d'établir un organisme provincial, mais indépendant, de surveillance de l'environnement ouvert et transparent (Gouvernement de l'Alberta, 2013).

4.1.2 Possibilités

Le comité d'experts a choisi la surveillance des écosystèmes naturels comme point de mire de son examen des possibilités axées sur les TIC. En raison de contraintes d'espace, le rapport n'inclut pas le large éventail de possibilités offertes par les TIC qui sont pertinentes à la surveillance de l'environnement, comme celles qui peuvent accroître l'efficience et la précision par le biais des rapports que produisent les entreprises du secteur privé. Les liens entre surveillance et durabilité sont évidents :

- De nombreuses applications examinées dans ce chapitre exigent une connaissance de l'état actuel de l'environnement, qui ne peut être obtenue que par une surveillance de base de l'environnement.
- L'impact sur l'environnement (positif ou négatif) d'une application ne peut être évalué sans une connaissance élémentaire de l'état actuel de l'environnement.

- Comprendre comment l'environnement évolue avec le temps permettra une meilleure planification de l'intervention et des mesures d'atténuation lorsque des changements se produisent.

Surveillance des écosystèmes naturels

La surveillance des écosystèmes naturels permet d'établir des données de référence et de déterminer comment l'environnement évolue avec le temps (positivement ou négativement). Elle peut se diviser en quatre volets : l'air, la terre, la biodiversité et l'eau. Les TIC ont le potentiel d'améliorer le suivi de chaque volet : par exemple la surveillance du niveau des polluants atmosphériques, comme les oxydes de soufre (SOx) et les oxydes d'azote (NOx), la détection des polluants présents dans le sol, le suivi des déplacements et du nombre des espèces animales dans une région, et la détection de la contamination causée par des agents pathogènes et des nutriments dans les sources d'eau de surface.

Selon le Bureau du vérificateur général du Canada (2011), tous les systèmes de surveillance qui fonctionnent bien, indépendamment de ce qui est surveillé, partagent certaines caractéristiques qui correspondent à de bonnes pratiques : conception, mise en œuvre, collecte de données, contrôle de la qualité, synthèse et analyse des données, rapports et communications internes et externes, et vérification et examen du système. De nombreux types de TIC jouent un rôle dans chacune de ces fonctions : les outils de cartographie utilisés pour concevoir un programme, les capteurs qui recueillent les données, le nuage où les données sont stockées, la fonction analytique qui analyse les données et les applications de contrôle de qualité. La crédibilité d'un système de surveillance et les décisions prises sur la base des données qu'il produit se trouvent renforcées par la transparence que les TIC peuvent offrir.

Les TIC peuvent faciliter le partage des données de surveillance de l'environnement entre les organisations (p. ex. des ministères) et les rendre largement disponibles au public en ligne. Le partage des données peut avoir plusieurs avantages :

- permettre à d'autres d'utiliser les données de façons nouvelles et novatrices pour engendrer des avantages supplémentaires;
- permettre de combiner les données avec d'autres ensembles de données pour faire ressortir d'autres renseignements et tendances;
- contribuer à la crédibilité et à la réputation de la surveillance en permettant à quiconque d'accéder aux données recueillies.

L'Alberta Environmental Monitoring Working Group a identifié la crédibilité comme étant particulièrement importante en raison de la place qu'occupe le développement des ressources dans l'économie provinciale et de la croissance

rapide survenue dans de nombreuses collectivités (AEMWG, 2012). L'importance du partage des données a été reconnue dans une collaboration récente entre le gouvernement fédéral et celui de l'Alberta portant sur l'élaboration d'un système de surveillance de calibre mondial pour la région des sables bitumineux. Le système englobera la surveillance de la qualité de l'air, de la qualité de l'eau, de la quantité d'eau, des écosystèmes aquatiques, de la biodiversité terrestre et de l'habitat, y compris les effets cumulatifs (Comité sénatorial permanent de l'énergie, de l'environnement et des ressources naturelles, 2012). Toutes les données recueillies seront rendues publiques et périodiquement soumises à un examen par des pairs.

Les systèmes de surveillance efficaces comportent aussi des avantages économiques distincts. Ainsi, ils peuvent réduire les coûts de la gestion environnementale grâce à une détection précoce des problèmes, aider les gouvernements à répartir leurs ressources de façon efficiente dans les zones qui en ont le plus besoin, et faciliter l'application de la réglementation environnementale en détectant rapidement les cas de non-conformité (Bureau du vérificateur général du Canada, 2011). En outre, avec des applications comme la prévision des événements météorologiques graves, les capteurs peuvent offrir une sécurité et une résilience accrues aux gens et aux collectivités. À titre d'exemple, ils peuvent surveiller l'intégrité structurale des ouvrages de protection contre les inondations, comme les digues et les barrages, pour prédire une catastrophe imminente (Stuijt, 2003), et fournir des informations en temps réel lors d'un événement météorologique extrême (Mauree, 2011). Les scientifiques ont affirmé que les données sur les eaux souterraines recueillies par les satellites de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) auraient pu être utilisées pour prédire la gigantesque inondation survenue en Alberta en 2013, ce qui aurait donné aux gouvernements plus de temps pour se préparer à affronter la catastrophe (Semeniuk, 2013).

Les données environnementales produites par des capteurs installés à distance peuvent engendrer directement des possibilités économiques. À titre d'exemple, le U.S. Geological Survey est arrivé à la conclusion que la valeur de l'information sur la qualité des eaux souterraines dans le nord-est de l'Iowa obtenue par télédétection était d'environ 858 millions de $US en 2010 (Forney *et al.*, 2012).

Des possibilités existent aussi pour que les gens deviennent eux-mêmes des capteurs en utilisant les TIC pour fournir de l'information sur leur environnement immédiat. Ainsi, la toile de capteurs humains SEMA (capteurs, autonomisation et responsabilisation) en Tanzanie combine des applications géographiques et Web (comme Google Maps), les nouveaux médias ainsi que les gens qui, avec leurs téléphones mobiles, deviennent des capteurs humains (NWO, 2013). En utilisant

Un jour dans la vie

Quinn, Regina

15:00 (HNC)

Quinn se précipite aux toilettes entre deux cours à l'Université de Regina. À sa sortie, il remarque qu'un robinet coule. Il ouvre l'application du service d'entretien de l'université sur son téléphone et passe celui-ci près de l'évier défectueux. Son téléphone saisit l'identificateur de communication en champ proche (NFC) de l'évier et compose automatiquement un message à l'intention du personnel d'entretien. Un peu plus tard, Quinn se rend compte que l'initiative de science citoyenne qu'il apprenait plus tôt pourrait profiter d'identificateurs de matériel NFC tels que ceux employés par l'université.

leurs téléphones, les citoyens détectent lorsque le service d'approvisionnement en eau (en qualité ou en quantité) est inférieur à la norme. Les plaintes apparaissent alors publiquement dans l'application jusqu'à ce que le problème ait été résolu. L'information peut être utilisée par les collectivités pour diffuser des renseignements sur la qualité de l'eau, préconiser des améliorations et, dans certains cas, repérer la source des problèmes (en comparant les données au moment d'une panne de courant, par exemple) (NWO, 2013).

Les concepteurs du programme ont rencontré des obstacles régionaux à l'adoption de l'application. Ainsi, le module de réponse initiale de l'application ne convenait pas au style de communication de la région. Les utilisateurs préféraient écrire de longues réponses plutôt que de choisir une réponse ne comportant qu'un seul mot, comme oui ou non. Les développeurs ont noté que comprendre les « aspects de la communication qui ont une importance cruciale entre les gens et l'application, entre le web et le fournisseur et pouvoir déterminer pourquoi » [traduction] était un élément contextuel clé du succès d'une application (NWO, 2013).

Tel que mentionné ci-dessus, les possibilités de surveillance de l'environnement liées aux TIC vont au-delà de la surveillance des écosystèmes naturels. L'encadré 4.4 présente un exemple de la façon dont les TIC peuvent réduire l'impact de l'extraction des ressources sur le milieu grâce à la surveillance environnementale.

Encadré 4.4
Surveillance de l'extraction des ressources naturelles

Les TIC peuvent améliorer la performance environnementale de l'extraction des ressources et surveiller ses effets sur l'environnement grâce à des applications qui fournissent des données de base. Les données de base doivent être recueillies avant que ne débute l'extraction de la ressource afin de mesurer les impacts futurs et de s'assurer que les entreprises respectent les règlements sur la protection de l'environnement. Elles sont aussi nécessaires pour mieux comprendre la ressource afin de l'extraire de la manière la plus efficiente possible.

Un exemple vient de l'industrie du pétrole et du gaz, où l'adoption de la technologie de récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de dioxyde de carbone (RAH-CO_2) pourrait potentiellement réduire les émissions de GES. Cette technologie a été mise en application dans le cadre du projet de surveillance et de stockage du CO_2 d'IEAGHG Weyburn-Midale, qui est en opération depuis 2000 en Saskatchewan. La saturation du réservoir de pétrole avec du CO_2 devrait prolonger la vie du champ pétrolifère de près de 25 ans, tandis que le stockage souterrain du CO_2 permet de réduire considérablement la quantité de CO_2 dans l'atmosphère. Ainsi, la quantité projetée de CO_2 stockée à la fin de la durée de vie du champ pétrolier de Weyburn pourrait dépasser 30 millions de tonnes, soit l'équivalent du retrait de plus de six millions de voitures de la circulation pendant un an (PTRC, 2013). Quant au lien avec les TIC, le projet de surveillance et de stockage du CO_2 d'IEAGHG Weyburn-Midale a produit un vaste ensemble de données de recherche et de surveillance unique au monde qui pourrait servir de base à des recherches futures sur la technologie RAH-CO_2 (Hitchon, 2012). Une analyse de l'Institut Pembina a révélé que si le pétrole extrait grâce à cette technologie devait déplacer tous les autres types de pétrole brut, il y aurait un avantage net en termes d'émissions de GES (Wong *et al.*, 2013). Toutefois, l'étude a aussi constaté, que l'impact de la technologie sur les émissions de GES varie grandement selon le projet et le taux de CO_2 injecté par baril de pétrole brut produit.

4.1.3 Défis

Pour parvenir à une surveillance efficace de l'environnement au Canada, plusieurs obstacles doivent être surmontés. Les défis les plus importants ont trait à la nécessité de tirer le maximum d'avantages des données recueillies. Les ensembles de données fermés et les données qui ne peuvent pas être lues ou comprises par d'autres en raison d'une absence de normes limitent les avantages potentiels de l'information recueillie. D'autres défis sont liés à la mise en place des réseaux de capteurs et de l'infrastructure nécessaires et portent

notamment sur les coûts connexes et qui doit défrayer cette infrastructure, ainsi qu'à la disponibilité de travailleurs possédant les compétences requises pour traiter la grande quantité de données produites (analytique).

4.1.4 Résumé

Une surveillance efficace protège la sécurité des Canadiens, mesure comment la salubrité de l'environnement est en train de changer et fournit des données de base sur l'état actuel de l'environnement au Canada. Les TIC peuvent grandement améliorer les systèmes de surveillance de l'environnement, car elles permettent de recueillir de grandes quantités de données dans un délai et à un coût raisonnables. Elles sont également importantes pour des applications aussi variées que la détection de la contamination de l'eau ou de l'air, le suivi des déplacements des oiseaux et de la faune et la surveillance du climat. Les TIC peuvent améliorer la surveillance des écosystèmes naturels et la performance environnementale de l'extraction des ressources. La détection intelligente, la surveillance et l'analytique, partout et en tout temps, peuvent transformer la capacité de prendre des décisions fondées sur des données et des preuves de haute qualité, permettant aux Canadiens de faire face aux crises provoquées par des événements naturels et sociaux extrêmes et de résoudre les problèmes connexes touchant aux ressources naturelles et à l'environnement. Des données de surveillance précises, telles que les données de base, l'utilisation de l'électricité dans un bâtiment, ou le nombre de véhicules sur une autoroute, et les capteurs qui recueillent ces données, sont le fondement de la plupart des possibilités examinées dans les sections suivantes.

4.2 SERVICES PUBLICS INTELLIGENTS INTERCONNECTÉS

POSSIBILITÉS OFFERTES PAR LES TIC INTERCONNECTÉES

L'électricité et l'eau sont livrées aux utilisateurs finaux à travers un système d'équipements uniques appelés un réseau. Le réseau comprend les centrales de production, les lignes de transport et de distribution, les pipelines et les stations de pompage, les tours et les fils, et le matériel de contrôle propre à

chaque service. Le réseau fait partie de l'infrastructure critique de la société, et les TIC peuvent jouer un rôle pour rendre cette infrastructure plus fiable et plus efficiente.

Le comité d'experts a choisi de se concentrer sur la prestation de ces services, par opposition à leur production. Les TIC laissent entrevoir un grand potentiel pour améliorer l'infrastructure qui distribue et, dans certains cas, dispose de l'électricité, de l'eau potable, des eaux usées et résiduelles, et du gaz naturel. En outre, le comité d'experts s'est concentré sur les composantes de l'électricité en raison de son importance pour la performance environnementale du Canada et du potentiel des réseaux intelligents de changer fondamentalement le mode de livraison de l'électricité. Les applications de réseaux intelligents peuvent servir pour d'autres flux de services publics et des exemples sont présentés dans la section suivante.

Historiquement, l'infrastructure *souple*, qui utilise les TIC, a joué un rôle de soutien dans chaque réseau de service public. Cependant, conjuguées à la puissance de l'analytique de données, les TIC à faible coût et largement déployées peuvent faire partie intégrante de la gestion et de l'exploitation durables des services publics importants en contribuant à une meilleure prise de décision parmi les particuliers, les entreprises, les fournisseurs et les responsables de la réglementation des services publics, et les gouvernements. Un réseau intelligent utilise les TIC pour habiliter les utilisateurs et les fournisseurs de services publics sur la base d'une communication instantanée, bidirectionnelle et interactive à travers les réseaux de l'offre et de la demande. Les TIC peuvent présenter une solution abordable pour la modernisation des services publics et la promotion de la gestion durable, et assurer une valeur économique et la performance environnementale pour le bien-être des gens, par le biais de services sécuritaires, fiables et efficaces.

4.2.1 Déterminants des services publics intelligents interconnectés au Canada

Plusieurs facteurs concourent simultanément au besoin d'améliorer la capacité de distribution des services publics au Canada, notamment l'augmentation de la demande des utilisateurs, les impératifs liés à l'infrastructure, aux ressources et au budget, ainsi que la volonté complémentaire des différents acteurs en matière de durabilité.

Les réseaux traditionnels au Canada sont fortement sollicités, alors que leurs infrastructures ont de l'âge et, dans certains cas, se détériorent et sont inefficientes. En outre, le Canada utilise encore le charbon, dont l'intensité d'émissions de GES est plus de 20 fois supérieure à la moyenne des autres sources,

pour produire de l'électricité (environ 12 % de la production d'électricité en 2011) (Weis *et al.*, 2012; AIE, 2013). Les polluants présents dans les émissions de charbon, tels que le dioxyde d'azote (NO_2) et des particules nocives, sont par ailleurs soupçonnés d'avoir des effets directs sur la santé respiratoire et cardiovasculaire et le système nerveux des humains (Lockwood *et al.*, 2009). Avec la sensibilisation récente à la pollution, la capacité de surveillance et les exigences en matière de durabilité, les émissions annuelles provenant de la production d'électricité devraient fléchir de 90 Mt éqCO_2 en 2011 à 82 Mt éqCO_2 en 2020. Cependant, il est prévu que la production d'électricité augmentera elle-même de 545 térawattheures en 2011 à 609 térawattheures en 2020 (Environnement Canada, 2013c).

Les réseaux d'approvisionnement en eau au Canada gèrent davantage de retraits que dans plusieurs autres pays industrialisés (Conference Board du Canada, 2013b). Cependant, l'expansion et l'entretien des infrastructures de distribution d'eau n'ont pas constitué une priorité depuis les années 1970, ce qui signifie qu'une grande partie de l'infrastructure approche de la fin de son cycle de vie utile (Keizer *et al.*, 2011). Une quantité importante d'eau (environ 13 %) prélevée par les municipalités canadiennes est perdue avant de parvenir aux utilisateurs finaux (p. ex. en raison de fuites) et le problème n'est généralement découvert qu'après que des dommages soient survenus (Renzetti et Dupont, 2013).

Devant les préoccupations croissantes au sujet de l'approvisionnement en ressources, l'émergence de politiques sur l'environnement et les demandes du public pour des sources d'approvisionnement efficientes et durables, l'attrait de l'électricité renouvelable et de l'utilisation durable de l'eau prend de plus en plus d'importance au Canada et ailleurs dans le monde (voir l'encadré 4.5). Le Canada est le troisième plus grand producteur d'hydroélectricité au monde; en 2011, il a produit 342 térawattheures d'électricité de sources hydrauliques (63 % de la production totale) (Environnement Canada, 2013c; Ressources naturelles Canada, 2013). Le Canada possède également une importante capacité de production non hydraulique et est le neuvième plus grand producteur mondial d'énergie éolienne (Chambre de commerce du Canada, 2013). En 2011 seulement, plus de 1 200 mégawatts de capacité de production d'énergie de sources éoliennes se sont ajoutés aux divers réseaux au Canada, et les projets de construction prévus un peu partout au pays entre 2013 et 2018 ajouteront encore plus de 6 000 mégawatts d'énergie électrique de source éolienne (Chambre de commerce du Canada, 2013). Par ailleurs, il est prévu que la biomasse, l'énergie solaire et l'énergie géothermique feront un apport supplémentaire de 5 400 mégawatts d'ici 2035, ce qui représentent 6 % de la production (ONE, 2011).

Encadré 4.5
Les eaux usées sont une ressource

Il est généralement reconnu que les eaux usées contiennent plus de 10 fois l'énergie requise pour la traiter (p. ex. voir Sizas et Bagley, 2004). Cette valeur pourrait donc être récoltée plutôt qu'éliminée, et des entreprises canadiennes ont pris l'initiative d'en tirer parti. Ainsi, Lystek International Inc., Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc., Anaergia Inc. et Plasco Energy Group Inc. développent de meilleures méthodes de traitement et de réutilisation des déchets et des eaux usées pour les services commerciaux. La station d'épuration de la ville de Guelph a procédé à une mise à niveau qui permettra à la ville de produire environ quatre gigawattheures d'énergie par an (assez pour alimenter plus de 450 foyers) grâce à la cogénération. Cela permettra d'économiser 300 000 dollars en coûts d'électricité, tout en compensant 3 500 tonnes d'émissions de GES annuellement (FLOW *et al.*, 2008).

Répondre à la demande de sécurité, de fiabilité et d'efficacité en faisant appel à l'ancienne infrastructure soulève des contraintes de capital, d'entretien, et de ressources humaines. Selon une estimation du Conference Board du Canada, le secteur canadien de l'électricité devrait investir environ 15 milliards de dollars par an, en moyenne, entre 2010 et 2030 pour faire face à la croissance et maintenir l'infrastructure existante (Baker *et al.*, 2011). Ce niveau d'investissement est supérieur à ce qu'il était auparavant. Le Conference Board note également qu'au cours des dernières années, les deux tiers des investissements ont servi à remplacer ou à réoutiller les centrales de production d'électricité (Baker *et al.*, 2011). La Fédération canadienne des municipalités estime que 31 milliards de dollars sont nécessaires pour éliminer le déficit municipal actuel en lien avec les services d'approvisionnement en eau et de collecte des eaux usées (Mirza, 2007), notant que plusieurs collectivités des Premières Nations sont parmi les plus vulnérables à l'insécurité des approvisionnements en eau (FLOW *et al.*, 2008).

4.2.2 Possibilités

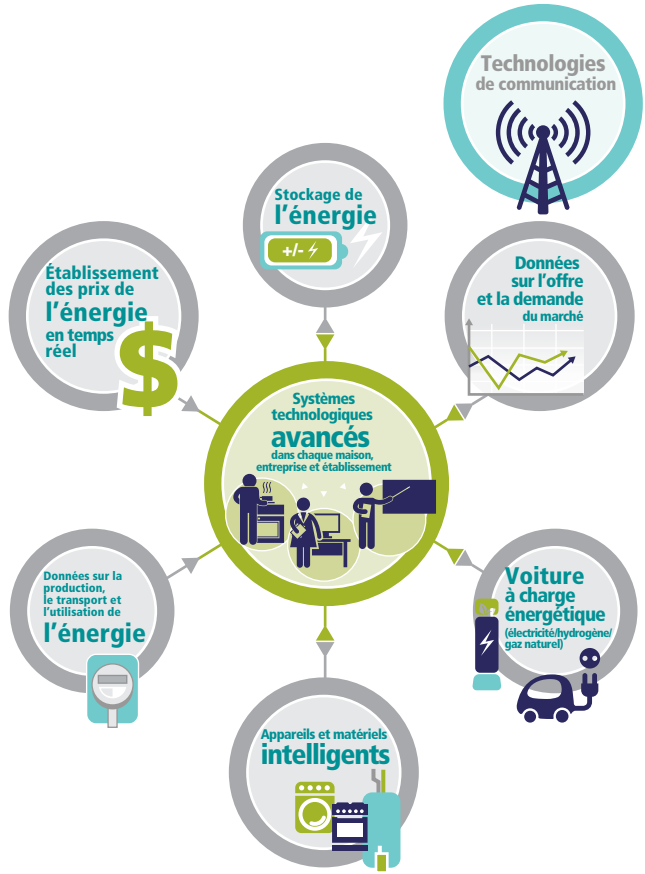
Les réseaux traditionnels, initialement développés à une époque où la communication unidirectionnelle était la norme, peuvent renfermer de précieuses données qui sont actuellement inaccessibles parce qu'elles sont conservées localement et n'ont pas été recueillies et conservées de manière organisée. Les TIC peuvent permettre une communication bidirectionnelle pour la surveillance et la gestion de la demande, l'optimisation des actifs, et l'intégration des formes nouvelles de production et de stockage plus propres pour desservir le réseau. En outre, le partage de l'information grâce aux TIC permet d'habiliter les fournisseurs et les utilisateurs de ces services en comblant le fossé qui les séparait. Alors que la plupart des écrits sur les technologies

de réseaux intelligents se concentrent sur l'infrastructure de l'électricité, bon nombre de ces technologies peuvent être appliquées à diverses fins dans d'autres secteurs, y compris celui de l'eau.

Le déploiement des systèmes et des applications des TIC décrits au chapitre 3, comme placer des capteurs sur les pipelines, utiliser des réseaux situés dans le nuage et appliquer des outils d'analytique de données, favorise des réseaux énergétiques intelligents (voir la figure 4.2). Les capteurs et les applications d'analyse de données qui partagent de l'information sur les réseaux de communication bidirectionnelle peuvent faciliter la surveillance intelligente dans les différents services publics, par ce qui est couramment appelé l'infrastructure de comptage avancée. Ces outils permettent aussi la gestion de la réponse à la demande et l'analyse des données pour éclairer les applications de contrôle de manière à mieux gérer l'utilisation des ressources (p. ex. à l'aide de modèles de tarification dynamique). Des applications peuvent améliorer les systèmes de distribution des services publics en leur permettant de surveiller et de contrôler le réseau de distribution en temps réel, et d'améliorer la fiabilité et la qualité du service. En outre, le déploiement généralisé des TIC peut permettre l'intégration de la production et du stockage distribués, réduisant le besoin d'étendre les lignes de transport, assurer une meilleure raccordement de la production locale aux besoins locaux en capacité, faciliter l'intégration des sources d'énergie renouvelable et permettre les échanges d'énergie entre les entreprises de services publics.

Infrastructure de comptage avancée

L'infrastructure de comptage avancée utilise les données transmises par le logiciel d'analytique entre les fournisseurs, les utilisateurs et de nombreux sites le long de la chaîne d'approvisionnement des services publics pour permettre une gestion plus efficace des flux. À titre d'exemple, les compteurs intelligents peuvent enregistrer et afficher le débit de consommation pour des périodes définies et communiquer cette information à la société d'électricité et au consommateur. Ils fournissent également aux responsables du réseau des renseignements fiables pour la détection de fuites ou de vols. BC Hydro a invoqué la détection des vols dans son analyse de rentabilisation des compteurs intelligents, en soulignant que le coût annuel des vols d'électricité dans la province s'élevait à environ 100 millions de dollars, soit assez d'électricité pour alimenter 77 000 foyers (BC Hydro, s.d.). L'information partagée par les compteurs intelligents permet aux fournisseurs de services publics de détecter plus précisément et plus rapidement les cas de vol d'électricité et de manipulation des installations, ce qui se traduit par des avantages financiers tangibles tout en réduisant les coûts que doivent assumer les clients légitimes des services publics (BC Hydro, s.d.). Les compteurs intelligents et les autres



Reproduit avec la permission du Waterloo Institute for Sustainable Energy, 2012

Figure 4.2

Composantes des réseaux d'énergie intelligents

Dans les réseaux d'énergie intelligents, les TIC fournissent les moyens de recueillir divers renseignements à une variété de sources qui n'étaient pas liées auparavant, par exemple des données provenant des véhicules et des appareils, et de l'information en temps réel sur le prix de l'énergie. La possibilité de lier ces données permet de prendre de meilleures décisions pour gérer le plus efficacement possible l'utilisation de l'énergie.

capteurs installés sur les lignes de transmission comportent de nombreux avantages pour les gestionnaires et les utilisateurs des services publics en leur permettant de comprendre et de faire une prévision adéquate de l'utilisation des ressources.

Gestion de la réponse à la demande

Les capteurs déployés sur les réseaux d'infrastructures de ressources fournissent de l'information aux fournisseurs et aux consommateurs de services publics. Les fournisseurs de services publics peuvent utiliser cette information pour élaborer des modèles plus robustes de prévision des débits de consommation, ce qui peut aider les systèmes à mieux gérer la demande des utilisateurs. Ce processus est appelé gestion du côté de la demande ou gestion de la réponse à la demande (GRD). Les fournisseurs de services publics peuvent employer la GRD pour élaborer des mesures incitatives à l'intention des consommateurs afin qu'ils réduisent ou modifient leur utilisation dans le but d'atténuer la demande maximale en période de pointe, ce qui concourt à la sécurité de l'approvisionnement et permet d'économiser des ressources (Chambre de commerce du Canada, 2013). Ainsi, l'Association canadienne de l'électricité estime que la GRD permettrait d'économiser 17 000 mégawatts d'électricité à travers le Canada en 2025 (ACE, 2008). Du côté de l'utilisateur, les données montrent que la tarification en fonction de l'heure d'utilisation, rendue possible par la communication fréquente et l'accessibilité des données recueillies par les compteurs intelligents peut réduire la demande d'électricité et d'eau et amener les utilisateurs à adopter des comportements plus durables (Power, 2008; SmartGrid Canada, 2012).

Les grands consommateurs commerciaux et industriels profitent encore plus des programmes de GRD. Ainsi, certains États américains appliquent systématiquement à la grande industrie et aux utilisateurs commerciaux une tarification dynamique, parce que ces clients ont généralement les moyens de décaler leur consommation d'énergie vers les périodes hors pointe (Barbose *et al.*, 2005; Chopra, 2011). En raison de cette tarification dynamique, plus de 80 % des réductions de la demande de pointe en 2009 provenaient des clients commerciaux et industriels (Chopra, 2011; Federal Energy Regulatory Commission, 2011).

La tarification dynamique des ressources et l'accès à l'information grâce aux outils des TIC comme les compteurs intelligents aident les utilisateurs à évoluer de payeurs passifs à participants actifs dans leur utilisation des services publics. La prévision de la charge permet aux fournisseurs de services publics de comprendre les réalités de la demande des utilisateurs, plutôt que de rester cantonnés dans un état inefficient d'attente de charge maximale. La compréhension des réalités de la demande peut donner aux fournisseurs de services publics une meilleure perspective de la façon de gérer durablement leur infrastructure d'une manière qui augmente la fiabilité pour les consommateurs.

Avantages de la communication bidirectionnelle

La communication bidirectionnelle au moyen de l'infrastructure de compteurs intelligents permet non seulement la participation des consommateurs à la chaîne de gestion des ressources, mais peut aussi, grâce à la transparence et aux programmes de GRD, fournir un stimulus pour induire des changements dans les habitudes de consommation. Les compteurs intelligents constituent un volet important du réseau et sont des facilitateurs des programmes de GRD, ce qui peut permettre aux consommateurs d'utiliser encore plus facilement les applications des TIC pour élaborer des solutions offrant un bon ratio coût-efficacité répondant à leur mode de vie (Chopra, 2011). En outre, le déploiement des TIC sur l'ensemble du réseau engendre des avantages importants en aidant les fournisseurs de services publics à mieux comprendre les utilisateurs. La connaissance situationnelle dont profitent les exploitants du réseau favorise l'efficience et la sécurité de la main-d'œuvre, notamment pour ce qui est de localiser les pannes, ce qui peut réduire plus efficacement la durée des périodes d'interruption du service et d'autres problèmes de fiabilité.

Le flux d'informations liées à la consommation d'électricité peut aller au-delà du secteur des services publics pour contribuer au développement durable d'autres secteurs, par exemple grâce à la cartographie de l'énergie. L'accès à ces renseignements peut permettre de développer des liens avec de nombreux autres secteurs qui utilisent de l'électricité pour élaborer des solutions adaptées, en vue d'une utilisation efficace et durable des ressources.

Pratique prometteuse

Le partage des connaissances dans les projets de réseaux intelligents

Le Centre commun de recherche sur l'énergie et les transports de la Commission européenne héberge un réseau intelligent, alors que la Division de la sécurité énergétique est engagée dans l'analytique de données, la cartographie et la simulation de différentes technologies de charge et d'approvisionnement. Ces outils ont permis d'analyser 400 projets de réseaux intelligents dans l'UE et de recueillir des données comparatives sur l'investissement et le rendement de la technologie de réseau intelligent dans tous les pays à partir de 2005. Les efforts portent maintenant sur la modélisation du système de distribution de l'électricité en Europe, en commençant par l'Autriche, et une carte géologique et électrique détaillée est disponible. Ce modèle sera utilisé pour déterminer si la technologie de stockage est mieux placée sur le réseau de distribution ou de transport, à quel moment et pour quel type de cycle.

(T. Rand, communication personnelle, 2013)

Améliorer la fiabilité du réseau

Des applications des TIC utilisent les données de capteurs en temps réel pour éclairer les décisions et améliorer la fiabilité et la qualité du service. Les capteurs installés le long du réseau sont en communication constante avec les gestionnaires de services publics et servent d'outil mobile de détection des incidents. Les opérateurs peuvent analyser les capteurs qui sont continuellement interrogés pour découvrir des dommages le long des lignes de distribution, tels que des problèmes électriques ou des fuites de fluides, et dépêcher les services de réparation plus efficacement. Cela permet aussi à l'entreprise de services publics de communiquer effectivement des renseignements sur la panne aux consommateurs par messagerie automatique utilisant les téléphones cellulaires. Les consommateurs sont informés de la panne, du fait que le rétablissement du service est en cours et de l'heure estimative à laquelle le service reprendra (Ontario Smart Grid Forum, 2010).

La connaissance des incidents et des interruptions communiquée par les capteurs et les applications analytiques peut apporter des avantages économiques sur le plan de la main-d'œuvre. À titre d'exemple, l'American Public Power Association signale qu'il y a environ 1 000 décès et 7 000 brûlures chaque année parmi les travailleurs de l'industrie des services d'électricité (NETL, 2010). Grâce à l'utilisation des communications mobiles et du GPS, les équipes de service peuvent mieux comprendre un incident, recevoir des mises à jour sans délai et ainsi résoudre un problème plus efficacement et en toute sécurité (Ontario Smart Grid Forum, 2010). Les interruptions ont des répercussions financières en termes de perte de productivité, de produits ou de données endommagés et de remboursements versés aux clients. À titre d'exemple, dans un rapport produit en 1998 pour le département américain de l'Énergie, les pertes économiques dans les différents secteurs industriels aux États-Unis imputables aux interruptions de courant étaient estimées à 150 milliards de $US par an (Swaminathan et Sen, 1998). Le Perfect Power Institute estime que ces interruptions coûtent annuellement 400 $US à chaque ménage et que les investissements dans les réseaux intelligents qui améliorent la fiabilité et la qualité de l'alimentation produiraient indirectement 75 milliards de dollars d'économies aux consommateurs (Kelly *et al.*, 2012). Les incidents majeurs tels que la panne d'électricité de 2003 dans le Nord-Est, qui a forcé la fermeture de 508 unités génératrices dans 256 centrales et qui a touché 55 millions de personnes aux États-Unis et au Canada, sont de plus en plus rares parce que les progrès réalisés dans l'automatisation des réseaux de transport et de distribution aident à accroître la fiabilité et à réduire les pertes (Groupe de travail Canada–États-Unis sur la panne de courant, 2004; CEA, 2011).

D'autres innovations des TIC peuvent aider à améliorer la fiabilité du réseau, un aspect qui va prendre de l'importance dans un contexte de changements climatiques et de conditions météorologiques de plus en plus imprévisibles. Des événements comme l'ouragan Sandy démontrent les risques inhérents à une infrastructure électrique ayant trop de points de panne potentielle (Magill, 2013). La fiabilité peut être améliorée par le recours aux TIC pour faire un couplage souple de nombreux microréseaux indépendants au réseau existant (Ragaini et Oudalov, 2012). Alors que les microréseaux sont généralement reliés à un réseau électrique plus vaste avec lequel ils peuvent acheter ou vendre de l'électricité (Ontario Smart Grid Forum, 2010), ils sont conçus pour être autosuffisants même lorsqu'ils sont déconnectés du réseau principal (Hiscock et Beauvais, 2012). Ainsi, même dans les cas où le réseau traditionnel est en panne, les bâtiments reliés à un microréseau continueront d'avoir du courant (p. ex. les services essentiels comme les hôpitaux). Les microréseaux pourraient aider les villes à composer avec les effets du changement climatique en évitant des pannes de courant généralisées au cours d'événements météorologiques extrêmes. Il y a actuellement plus de 260 projets de microréseaux projetés ou déjà en exploitation aux États-Unis (Magill, 2013).

Fondé en 2010 avec une enveloppe de 4,6 millions de dollars, le Réseau stratégique du CRSNG sur les miniréseaux intelligents est un important projet sur cinq ans réunissant des partenaires du milieu universitaire, du gouvernement et de l'industrie en vue de développer, tester et vérifier les technologies et la réglementation nécessaires pour exploiter les miniréseaux intelligents (Hiscock et Beauvais, 2012).

La production et le stockage distribués

La transmission de données facilitée par les TIC est l'une des clés de l'intégration pratique de réseaux à petite échelle ou de producteurs de services alternatifs, tels que des centrales de production d'électricité renouvelable et des usines de traitement de l'eau. En mettant à contribution le potentiel combiné de nombreuses petites sources, la production locale peut être mieux raccordée aux besoins de charge locaux. À titre d'exemple, le réseau intelligent peut aider à stabiliser l'intégration des sources d'électricité renouvelables intermittentes au système de transmission de courant en suivant et en analysant les données d'interconnectivité pertinentes (Chambre de commerce du Canada, 2013).

Cette technologie a rendu possible le Programme de tarifs de rachat garantis de l'Ontario (TRG), qui permet aux particuliers et aux entreprises de produire et de vendre de l'énergie renouvelable à la province à un prix garanti pour une durée déterminée (Ministère de l'Énergie de l'Ontario, 2012a). Selon le ministère de l'Énergie de l'Ontario, en deux ans (2009 à 2011), le TRG a attiré

Un jour dans la vie

Deena et Ray, Vancouver

15:00 (HNP)

Les ordinateurs dans l'immeuble à bureaux de Deena et Ray surveillent la lumière ambiante et le taux auquel les panneaux solaires captent l'énergie. Comme prévu, le ciel est couvert en fin de journée et même si les panneaux tournent vers le soleil et continuent à produire de l'électricité, ils ne suffisent pas à répondre aux besoins du bâtiment. Pour compenser l'écart, le réseau électrique commence à tirer de l'énergie des batteries des voitures stationnées dans les bâtiments voisins afin de combler le déficit temporaire. La quantité d'énergie tirée de chaque véhicule est déterminée par l'itinéraire du propriétaire pour la semaine. Le propriétaire est automatiquement remboursé au tarif actuel par wattheure, et est informé au cas où il voudrait limiter la quantité d'énergie retirée.

plus de 27 milliards de dollars en investissements du secteur privé et créé plus de 20 000 emplois; il est prévu qu'il créera au total 50 000 emplois (Ministère de l'Énergie de l'Ontario, 2012b).

En plus d'intégrer les énergies renouvelables, les TIC peuvent également permettre au secteur de l'électricité de stocker plus efficacement les ressources énergétiques et sur de plus longues périodes. Cela pourrait avoir un profond impact en permettant à l'électricité produite hors des périodes de pointe d'être stockée pendant des jours, des semaines, voire des mois, jusqu'à ce qu'elle soit requise (Belanger et Rowlands, 2013). Le stockage de l'énergie est une préoccupation particulière sur le marché émergent des véhicules électriques (voir l'encadré 4.6). Compte tenu du flux intermittent des sources de production d'électricité renouvelable, les méthodes de stockage efficaces revêtent une importance particulière pour exploiter plus efficacement le plein potentiel de ces véhicules. Ainsi, les accumulateurs à flux peuvent offrir une souplesse de charge et des caractéristiques d'efficacité pour répondre à différentes fonctions du réseau (Nathwani et Blackstock, 2012). Hydrogenics Corporation de Mississauga, en Ontario, qui a obtenu un contrat de trois ans d'une valeur de 92 millions de dollars en novembre 2012 (Gouvernement de l'Ontario, 2012), a mis au point un système permettant de convertir la production excédentaire d'énergie éolienne, solaire et nucléaire en hydrogène pouvant être stocké et transporté par le biais de l'infrastructure existante pour le gaz naturel (Hydrogenics, 2012). Bien qu'historiquement, le prix de la technologie de stockage de l'énergie ait été très élevé, le marché émergent axé sur les sources renouvelables réduit ces coûts (Nathwani et Blackstock, 2012).

Encadré 4.6
Transport électrifié propre en Colombie-Britannique

Les résidents de la Colombie-Britannique adoptent les véhicules électriques à un taux deux fois supérieur à la moyenne canadienne (Tsang, 2009). Comme les zones où cette tendance est marquée devraient avoir atteint des taux d'adoption de 5 % en 2015 et de 50 % en 2030, la recharge des véhicules électriques sans contrainte pourrait avoir des effets dramatiques sur le réseau vieillissant en accentuant les charges de pointe d'une infrastructure déjà surchargée, accroissant le risque de défaillance et nécessitant la planification de mesures d'atténuation (Tsang, 2009). Cependant, des administrations locales en Colombie-Britannique ont adopté des politiques et des pratiques permettant l'inclusion d'un plus grand nombre de véhicules électriques, y compris des règlements sur l'installation des stations de recharge dans les nouvelles maisons unifamiliales (depuis 2008) et dans 20 % des places de stationnement des immeubles résidentiels à logements multiples (depuis 2009) (Ville de Vancouver, 2012).

Les programmes de chargement et de tarification avancés rendus possibles par la technologie d'infrastructure de comptage des réseaux intelligents prennent en charge les véhicules électriques en permettant aux clients de les charger durant les heures creuses selon une tarification dynamique et le profil d'utilisation de la voiture, réduisant ainsi les coûts globaux sur la durée de vie d'un véhicule électrique (ACE, 2008). En outre, le comptage bidirectionnel pourrait permettre aux utilisateurs de voitures électriques de revendre durant les heures de pointe l'électricité stockée. Ce concept, du véhicule-vers-le-réseau est actuellement à l'étude dans des établissements canadiens tels que le British Columbia Institute of Technology (Moorhouse et Laufenberg, 2010). La transmission bidirectionnelle pourrait également permettre de retourner de l'énergie vers le domicile d'une personne (du véhicule vers la maison).

Un jour dans la vie

Deena, Vancouver

19:00 (HNP)

Deena s'assoit pour dîner et examine les messages affichés dans la fenêtre en face d'elle. La maison lui recommande d'améliorer son efficacité énergétique mensuelle en augmentant légèrement le point de réglage du refroidissement et de réduire la température de l'eau. Elle accepte la première option, rejette la seconde et ne donne pas suite au reste des avis. Lorsqu'elle quitte l'interface, la fenêtre redevient à nouveau transparente.

Autres services publics

La plupart des applications de TIC examinées dans la présente section peuvent également servir pour d'autres types de services. À titre d'exemple, les TIC ont un rôle important à jouer dans la transition vers un système de distribution d'eau plus intelligent grâce à de multiples applications, y compris celles qui permettent de réduire les pertes d'eau dans le réseau de distribution et les maisons (voir, par exemple, Mauree, 2011; Smith *et al.*, 2012). Les capteurs installés dans le réseau de distribution d'eau (p. ex. dans les conduites) permettent aux exploitants de ce service public de repérer les fuites et d'effectuer les réparations en temps quasi réel. Des systèmes de pipelines intelligents, où l'autoréparation est déclenchée par des capteurs disposés dans les canalisations, ont également été proposés (Mauree, 2011). Cela pourrait entraîner des économies d'eau importantes; la Banque mondiale estime que plus de 32 milliards de mètres cubes d'eau s'échappent annuellement des réseaux de distribution d'eau dans le monde (Kingdom *et al.*, 2006). Grâce à une surveillance plus systématique des réseaux de distribution d'eau par l'utilisation de capteurs, les fuites peuvent être détectées et leurs emplacements identifiés plus facilement.

Les compteurs intelligents peuvent aussi alerter plus rapidement les consommateurs lorsqu'il y a une consommation d'eau anormale, ce qui peut permettre des économies d'eau importantes. Environ 5 à 10 % des foyers américains ont des fuites qui laissent échapper 90 gallons (environ 340 litres) d'eau par jour ou plus (Oracle, 2010). Les compteurs intelligents qui indiquent aux consommateurs la quantité d'eau qu'ils utilisent peuvent réduire la consommation jusqu'à 10 % (Power, 2008). En outre, la collecte de données précises sur la consommation d'eau grâce à la surveillance en temps réel ouvre la porte à une tarification variable et fournit aux décideurs des données plus exactes aux fins de la prise de décision (p. ex. grâce à la cartographie de l'eau) (Institut urbain du Canada, s.d.). Ces données peuvent également être utilisées pour la cartographie de l'eau, ce qui permet de relier à d'autres secteurs les données sur l'utilisation de l'eau. La cartographie de l'eau peut ainsi contribuer à éclairer les politiques qui ciblent les personnes ou les industries qui utilisent le plus d'eau.

Les TIC peuvent également servir à améliorer la performance environnementale des oléoducs en prévenant les fuites (voir l'encadré 4.7).

Encadré 4.7
Les applications des TIC à d'autres types de services publics : la détection des fuites dans les oléoducs

Les oléoducs sont une méthode couramment utilisée pour le transport du pétrole et du gaz, des sites d'extraction vers les raffineries et des raffineries vers le marché, car ils peuvent traiter de gros volumes en continu sans nécessiter l'utilisation de camions ou de trains. Au Canada, plus de 100 000 kilomètres de pipelines déplacent actuellement du pétrole liquide ou du gaz naturel (Association canadienne de pipelines d'énergie, 2013). Il y a des risques associés aux pipelines car les fuites peuvent causer des dommages importants aux écosystèmes naturels.

Les TIC ont le potentiel de réduire l'impact et la fréquence des fuites de pipelines en les détectant immédiatement ou même avant qu'elles se produisent. À titre d'exemple, des capteurs placés à intervalles réguliers le long d'un pipeline peuvent transmettre sans fil des informations sur son état physique, détectant les zones de fatigue avant qu'une fuite ne se produise (Association canadienne de pipelines d'énergie, 2013). Une membrane intelligente placée autour de la conduite peut également détecter les fuites de fluides et déterminer avec précision leur emplacement. Ces outils permettent de surveiller l'intégrité structurelle d'un pipeline à distance et de manière continue, et de fournir aux équipes d'entretien de l'information pour les aider à cibler plus efficacement leur travail.

4.2.3 Défis

Plusieurs défis technologiques clés se posent en cherchant à retirer le maximum d'avantages des services intelligents interconnectés. Ils comprennent les difficultés techniques liées au manque d'interopérabilité imputable à l'absence de normalisation, ou celles liées à l'accès aux données. La protection de la vie privée et la sécurité sont aussi des préoccupations importantes à la fois pour les consommateurs et pour les entreprises de services publics. Ainsi, les préoccupations relatives à la protection de la vie privée peuvent empêcher les utilisateurs d'adopter des applications de réseaux intelligents. Les coûts de mise en œuvre poseront aussi un défi en raison du coût élevé de nombreuses applications intelligentes pour les services publics. Le vieillissement des infrastructures est certainement un déterminant de la mise à niveau des systèmes de distribution d'eau, d'électricité et de gaz au Canada. Cependant, dans certains cas, d'importants investissements ont déjà été faits pour maintenir ces infrastructures en état de fonctionnement, ce qui pourrait freiner l'adoption de nouvelles technologies. Les investissements passés qui ne peuvent être récupérés, appelés *coûts irrécupérables*, peuvent empêcher les exploitants de faire de nouveaux investissements, malgré les avantages qu'ils

pourraient en retirer. Un autre obstacle peut être la dépendance à l'égard du cheminement technologique suivi jusque-là, puisqu'il est difficile de mettre en place une application des TIC qui diffère de ce qui est déjà connu et compris. En outre, il y a de sérieux risques associés au choix d'une technologie inefficace, ou moins efficace, au point de départ.

4.2.4 Résumé

La fourniture des services publics (p. ex. l'électricité, l'eau et le gaz) est un volet essentiel de la vie canadienne. Cependant, l'infrastructure qui assure la distribution de ces services a souvent besoin de réparations, et les avantages d'une mise à niveau du système sur le plan de la durabilité seraient substantiels. Les TIC peuvent offrir une solution abordable pour la modernisation des réseaux par le biais d'un large éventail de possibilités, y compris l'infrastructure de comptage avancée, la GRD, la production distribuée et le stockage. Par ces moyens et d'autres applications, les TIC peuvent faciliter la gestion durable des services publics, habilitant les utilisateurs finaux à faire des choix et engendrant une valeur économique et une meilleure performance environnementale pour le bien-être des gens, par le biais de services sécuritaires, fiables et efficients.

4.3 BÂTIMENTS ET VOISINAGES INTELLIGENTS INTERCONNECTÉS

Les bâtiments font partie intégrante du cadre matériel de la vie. Ils fournissent des lieux de refuge, des centres d'activité commerciale et, parfois, des plateformes d'expression artistique. Avec des utilisations aussi étendues, il n'est pas étonnant que les bâtiments représentent une part importante de la consommation totale d'énergie. Qu'il s'agisse de maisons individuelles, d'édifices à bureaux ou de gratte-ciel, les bâtiments sont des lieux où les gens utilisent l'électricité et l'eau à tous les jours. Les bâtiments n'existent pas isolément et, ensemble, ils forment des voisinages et des collectivités. Comprendre les différentes solutions qui s'offrent pour améliorer la performance environnementale des bâtiments et, par extension, les voisinages et les collectivités, est un pas vers la durabilité.

4.3.1 Déterminants du changement des bâtiments et des voisinages intelligents interconnectés au Canada

Les bâtiments sont la deuxième plus grande source d'utilisation d'énergie secondaire[5] dans l'économie canadienne, en combinant la consommation des bâtiments des secteurs résidentiel et commercial/institutionnel. Les bâtiments de ces secteurs ont consommé 31 % de l'énergie secondaire en 2009, ces deux secteurs comptant pour 17 % et 14 %, respectivement, de la consommation totale (Ressources naturelles Canada, 2012). Les bâtiments résidentiels et commerciaux/institutionnels ont également enregistré des taux élevés de croissance de la consommation d'énergie secondaire, avec des gains de 11 % et de 37 %, respectivement, entre 1990 et 2009. La croissance de l'utilisation d'énergie des bâtiments commerciaux/institutionnels s'explique principalement par une augmentation d'environ 170 % de la consommation d'énergie du matériel auxiliaire. Le matériel auxiliaire comprend les appareils branchés directement sur les prises électriques, comme les produits des TIC, que l'on retrouve aujourd'hui dans la plupart des foyers et des entreprises (p. ex. les ordinateurs). Compte tenu de la grande quantité d'énergie utilisée, il n'est pas étonnant que le secteur commercial/institutionnel dépense de fortes sommes en énergie pour les bâtiments (24 milliards de dollars en 2009) (Ressources naturelles Canada, 2012). L'importance des TIC dans la consommation d'électricité des bâtiments met en évidence les avantages environnementaux et économiques qui pourraient être récoltés grâce à une amélioration de la performance environnementale des TIC, comme il ressort du chapitre 3.

La croissance démographique et l'évolution du mode de vie résidentiel au Canada ont contribué à une augmentation de la consommation d'énergie résidentielle. Entre 1990 et 2009, le nombre de ménages canadiens a augmenté

5 RNCan (2012) définit l'utilisation d'énergie secondaire comme étant « l'énergie utilisée par les consommateurs finaux dans les divers secteurs de l'économie. »

de 3,5 millions (Ressources naturelles Canada, 2012). Cette hausse, ainsi que l'augmentation de la superficie en pieds carrés des surfaces habitables, la pénétration des appareils ménagers et le nombre de personnes qui climatisent leur maison au cours des mois d'été, ont entraîné une augmentation de 11 % de la consommation d'énergie du secteur résidentiel.

Les bâtiments sont le quatrième plus grand producteur d'émissions de GES au sein de l'économie (Environnement Canada, 2013c). Au cours de la période allant de 1990 à 2005, les émissions des bâtiments au Canada ont progressé de 70 à 84 Mt éqCO_2. Cependant, entre 2005 et 2011, les émissions des bâtiments sont restées stables. Cette absence d'augmentation des émissions de GES, malgré l'augmentation du nombre total de bâtiments, peut être attribuée à la réduction des émissions des bâtiments commerciaux/institutionnels par suite de l'amélioration de l'efficacité énergétique. On estime que 40 % de l'ensemble de la superficie utile des bâtiments au Canada a fait l'objet d'une rénovation énergétique quelconque entre 2005 et 2009 (Environnement Canada, 2013c).

Les estimations d'Environnement Canada pour les émissions de GES des bâtiments des secteurs résidentiel et commercial/institutionnel au Canada sont présentées au tableau 4.1. Dans le secteur résidentiel, il est prévu que les émissions des bâtiments augmenteront légèrement entre 2005 et 2020, passant de 44 à 47 Mt éqCO_2 (Environnement Canada, 2013c). Cette hausse est modeste devant l'augmentation prévue d'environ trois millions de foyers sur la même période. La hausse des émissions de GES des bâtiments dans le secteur commercial devrait être plus marquée, passant de 39 Mt éqCO_2 en 2011 à 48 Mt éqCO_2 en 2020. Cette augmentation attendue s'explique par une expansion des surfaces commerciales dans les années à venir. Les estimations projetées à l'horizon 2020 tiennent compte des mesures existantes des gouvernements, de la réglementation liée au code du bâtiment et des rabais et mesures incitatives visant à accroître l'efficacité énergétique (Environnement Canada, 2013c).

Tableau 4.1

Émissions de gaz à effet de serre des bâtiments

	2005	2011	2020 (prévisions)
Résidentiel			
Émissions (Mt éqCO_2)	44	45	47
Ménages (en millions)	12,7	13,9	15,6
Commercial			
Émissions (Mt éqCO_2)	39	39	48
Surface utile (en millions de m^2)	654	727	884

Source des données : Environnement Canada, 2013c

Même avec les mesures gouvernementales existantes, ces projections montrent qu'il y a encore un besoin et une occasion de réduire davantage les émissions de GES d'ici 2020. En outre, le secteur de l'électricité produit actuellement environ 6 Mt éqCO_2 de plus que les bâtiments (Environnement Canada, 2013c). Pourtant, en 2020, le secteur de l'électricité devrait en générer 7 Mt éqCO_2 de moins. Ces statistiques montrent que d'autres solutions sont requises afin d'abaisser les émissions de GES des bâtiments. Les TIC peuvent jouer un rôle important dans la réduction des émissions de GES des bâtiments; ainsi, la GeSI (2012) estime que l'application des TIC dans les bâtiments pourrait réduire les émissions de GES de 26 Mt éqCO_2 par an d'ici 2020, soit environ le tiers des émissions totales des bâtiments en 2010. L'Institut des études technologiques prospectives, affilié au Centre commun de recherche de la Commission européenne, a constaté que l'utilisation des TIC dans la gestion des installations pourrait, à elle seule, réduire de 3,5 à 6,3 % les émissions de CO_2 des bâtiments (Erdmann *et al.*, 2004).

L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments comporte des avantages économiques évidents, en plus des avantages sur le plan de l'environnement. À titre d'exemple, les améliorations dans le secteur résidentiel depuis 1990 ont permis des économies d'énergie évaluées à 8,9 milliards de dollars en 2009 (Ressources naturelles Canada, 2012). Sur cette période (1990 à 2009), le secteur commercial a également épargné des sommes importantes (3 milliards de dollars) en raison des économies d'énergie. Les progrès dans ces deux secteurs comprennent l'amélioration de l'enveloppe thermique et de l'efficacité d'appareils consommant de l'énergie, comme les appareils de chauffage, les électroménagers, l'éclairage et la climatisation (Ressources naturelles Canada, 2012). Bien que ces progrès ne soient pas directement liés aux TIC, ils font voir les économies substantielles qui peuvent être réalisées grâce à une meilleure efficacité énergétique.

Les améliorations apportées aux bâtiments peuvent aussi comporter des avantages sociaux pour les occupants. Les bâtiments intelligents peuvent aider les organisations à s'acquitter de leur mandat par le biais de la gestion des ressources, contribuant ainsi à la productivité et à l'efficience organisationnelles (Derek et Clements-Croome, 1997). Ces bâtiments peuvent également s'adapter aux besoins humains et suivre l'évolution sociale et technologique.

4.3.2 Possibilités

La vie d'un bâtiment peut se diviser en quatre phases distinctes : la conception, la construction, l'exploitation et la rénovation ou la démolition. Le comité d'experts a choisi de se concentrer sur les possibilités liées à la phase d'exploitation, avec un bref examen de la conception et de la construction.

Bâtiments plus efficaces : conception et construction

La conception d'un bâtiment peut avoir des conséquences importantes pour son rendement énergétique et la production d'émissions. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) estime que la conception de bâtiments durables peut réduire les coûts annuels en énergie de 35 à 50 %, alors que la GeSI prédit qu'elle peut abaisser les émissions totales des bâtiments au Canada de 43 % (environ 11,2 Mt éqCO_2 par an) (Levine *et al.*, 2007; GeSI, 2012). L'élaboration d'un modèle de bâtiment durable exige l'examen d'une multitude de facteurs, dont l'orientation, l'enveloppe, la surface de vitrage et les systèmes mécaniques et électriques (Levine *et al.*, 2007). En utilisant des TIC comme les logiciels de simulation et de modélisation, les concepteurs de bâtiments peuvent évaluer les économies d'énergie potentielles et les réductions d'émissions produites par différents modèles (Commission européenne, 2009a). En outre, ces logiciels et outils de mesure peuvent être utilisés pour déterminer les profils de consommation d'énergie des structures existantes, permettant ainsi d'identifier les zones d'inefficience. Si des zones communes d'inefficience sont repérées, des lignes directrices sur les meilleures pratiques peuvent être élaborées en vue d'améliorer le rendement du bâtiment (GeSI, 2012).

En plus de concevoir des structures de bâtiments individuels, les applications des TIC ont été utilisées pour inspirer la conception de systèmes urbains complexes. L'utilisation accrue de ces technologies est en réponse à la demande croissante de l'efficacité, la réduction des coûts et l'amélioration de la prestation des services dans le milieu bâti (Larsen, 2003). Les communications, l'analyse et les outils de modélisation qui sont actuellement utilisés par les collectivités locales, par exemple, comprennent des systèmes d'information géographique (SIG), les systèmes de renseignement des entreprises, entrepôts de données et échanges électroniques des documents (Andersen *et al.* 1999 tel que mentionné dans Larsen, 2003).

Les applications de modélisation des données du bâtiment pourraient permettre de relever les défis de l'intégration des données et l'interopérabilité en facilitant la communication entre les applications logicielles et la collaboration des intervenants de l'industrie. Elles rendent possible la saisie de l'information sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment (Isikdag *et al.*, 2007). Autodesk Revit est un exemple de logiciel de modélisation des données du bâtiment de premier plan.

Pratique prometteuse
Institut de la maison passive (Passivhaus Institut), Darmstadt, Allemagne

À l'heure actuelle, 30 000 foyers dans le monde (sans système de chauffage ou de refroidissement régulier) sont conformes aux concepts et aux normes de Passivhaus (Mead et Brylewski, 2013). Utilisant une variété d'aides à la planification, de logiciels et d'outils, Passivhaus a élaboré une norme de conception qui exige que la demande annuelle de chaleur massique d'un bâtiment soit inférieure à 15 kilowattheures par mètre carré, en accordant une attention particulière à l'isolation pour réduire les pertes de chaleur et au colmatage des fuites. Les premières habitations Passivhaus ont été construites à Darmstadt, en Allemagne, en 1991, et l'Institut Passivhaus a fait la promotion de cette norme en Europe (Mead et Brylewski, 2013).

Exploitation durable de bâtiments

Une variété d'outils pourrait permettre une exploitation durable des bâtiments. Notamment, les systèmes de gestion des bâtiments sont des systèmes technologiques qui peuvent contrôler et surveiller les services liés aux bâtiments (Levermore, 2002). Avec l'aide de capteurs, un gestionnaire d'énergie peut, même s'il se trouve dans un poste central, contrôler à distance un large éventail d'éléments, y compris la température et l'éclairage (Katipamula *et al.*, 1999). Ces systèmes peuvent être opérés manuellement ou automatiquement et ont le potentiel de conserver les ressources, réduire la consommation d'énergie et surveiller l'occupation de l'immeuble (GeSI, 2012). Bien que des données montrent que les systèmes de gestion des bâtiments réduisent globalement la consommation d'énergie, les estimations des économies réalisées varient considérablement. Ainsi, un examen de la littérature par le GIEC a révélé que les estimations des économies d'énergie vont de 5 à 40 % (Levine *et al.*, 2007).

Un jour dans la vie

Jamal, Toronto

8:00 (HNE)

Le téléphone de Jamal envoie un signal à son bureau quand sa voiture est à environ 15 minutes de distance. C'est à peu près le moment où il franchit les feux de circulation à proximité de la gare Union (un site historique; le trafic n'a pas été contrôlé par des feux de circulation depuis des années). Lorsque son bureau reçoit les données de localisation, le système de climatisation (qui s'éteint pour économiser de l'énergie lorsque la pièce est inoccupée) s'active de telle sorte que la pièce sera à la température préférée de son occupant lorsqu'il arrivera.

Une autre technologie importante pour la gestion des bâtiments est celle des systèmes de réduction/optimisation de la tension, qui règlent au niveau optimal la tension fournie à un appareil ou à du matériel installé (GeSI, 2012). Cette technologie est conçue pour réduire la demande et les pertes d'énergie, en plus d'offrir des économies au niveau des coûts d'électricité. La GeSI estime que l'optimisation de la tension peut entraîner une réduction des émissions de 3,4 Mt éqCO_2 par année (GeSI, 2012).

Les outils de sensibilisation des utilisateurs peuvent également réduire l'impact environnemental des bâtiments. Les appareils qui fournissent aux utilisateurs finaux des informations en temps réel sur leur consommation d'énergie (ou d'eau) peuvent influencer leur comportement et améliorer ainsi l'efficacité des bâtiments. La Commission européenne estime que ces dispositifs pourraient réduire la consommation d'énergie de 5 à 15 % (Commission européenne, 2009a).

Un jour dans la vie

Natasha, Calgary

9:00 (HNR)

Comme Natasha entre dans le hall du gratte-ciel où elle travaille, elle regarde le grand écran recouvrant le mur arrière. En ce moment, il montre des statistiques d'efficacité énergétique pour chaque département. Les chiffres sont pondérés pour tenir compte des différents besoins d'énergie et du nombre d'employés. Elle est heureuse de voir que son département est actuellement en tête dans l'entreprise — et que la société est un chef de file national dans l'industrie. Bien que les scores soient affectés par de nombreux facteurs hors du contrôle de chacun, Natasha a l'esprit de compétition et surveille de très près les cotes d'efficience.

Qui plus est, un bâtiment intelligent peut accomplir des choses qui sont limitées dans un bâtiment classique. Du côté de l'offre, un bâtiment intelligent peut produire de l'électricité pour sa propre consommation (par exemple grâce à l'énergie photovoltaïque), toute énergie excédentaire étant transférée au réseau, faisant du bâtiment un *prosommateur* (c.-à-d., à la fois un fournisseur et un consommateur) (Commission européenne, 2009a). Les technologies intelligentes de stockage d'énergie peuvent aussi servir à équilibrer l'alimentation en énergie provenant du réseau intelligent. Du côté de la demande, les TIC peuvent informer les consommateurs sur le taux actuel d'utilisation de l'énergie, en leur donnant la possibilité de répondre aux signaux de prix du réseau et de modifier leur comportement afin de réduire leurs coûts en énergie.

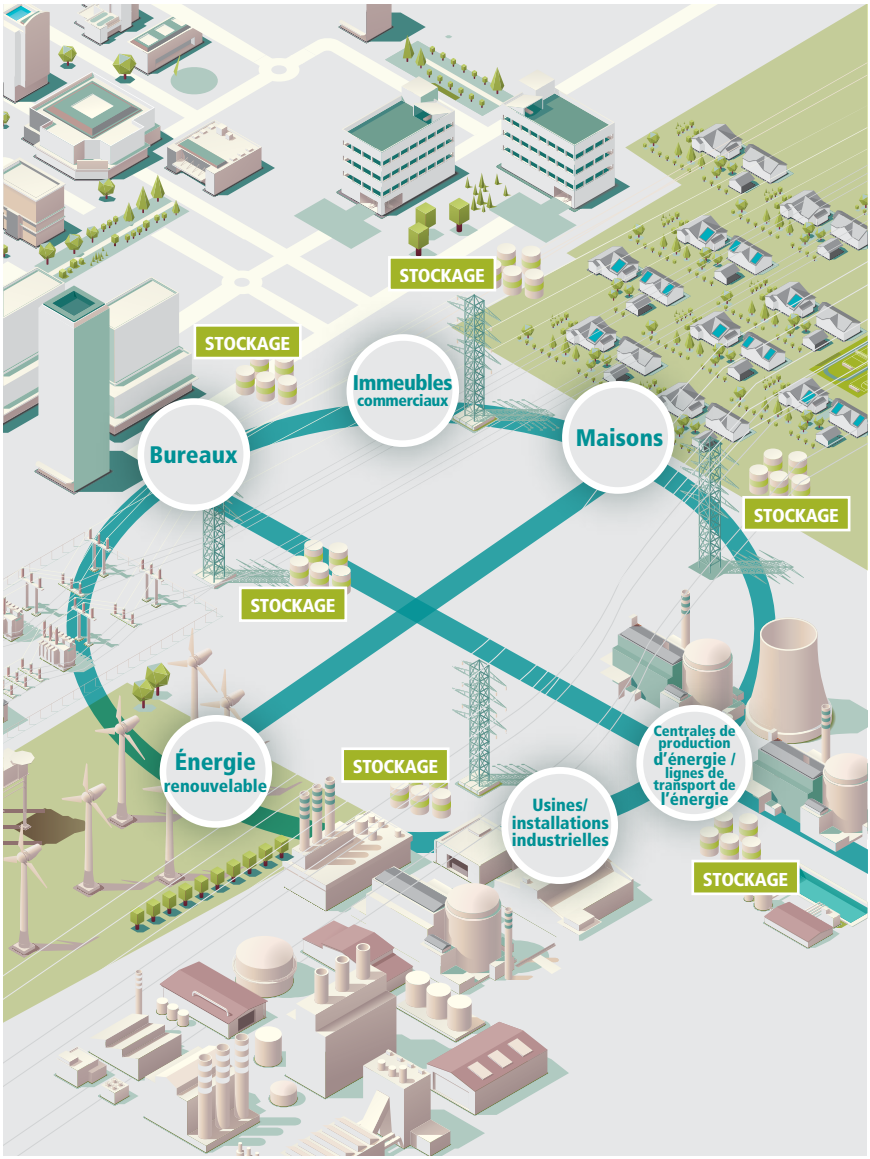
Processus de participation communautaire

Les processus qui facilitent l'inclusion active et la collaboration des personnes et des groupes en vue d'atteindre un but précis peuvent également être utilisés pour atteindre des objectifs de durabilité. Dans le milieu bâti intelligent, les TIC peuvent être exploitées de trois façons différentes. Premièrement, elles peuvent servir de mode de communication entre le bâtiment et ses occupants. Deuxièmement, les TIC peuvent offrir un forum pour la participation à des activités particulières. Enfin, les applications des TIC peuvent être utilisées pour célébrer et susciter des comportements positifs et durables parmi les occupants. Ces attributs du milieu bâti liés aux TIC contribuent à la création et à la préservation de communautés de vie durables.

Voisinages connectés

Un bâtiment intelligent ne s'arrête pas aux murs qui l'entourent. Au contraire, les structures construites interagissent avec leur environnement et sont affectées par celui-ci. Les bâtiments sont des composantes de systèmes d'infrastructures complexes qui sont en interaction à différentes échelles. Le milieu bâti prend en considération le réseau au sein duquel les bâtiments se trouvent. Par conséquent, une sous-optimisation de la durabilité à l'échelle du bâtiment devient un facteur limitatif.

La durabilité dans un environnement bâti est plus facilement atteignable à l'échelle du voisinage (voir l'encadré 4.8). À titre d'exemple, les unités locales de production et de stockage de l'énergie peuvent intégrer diverses formes d'énergie renouvelable disponibles localement. L'énergie excédentaire produite peut être transférée au réseau et échangée avec d'autres bâtiments environnants (Commission européenne, 2009a) (voir la figure 4.3). En outre, les applications des TIC peuvent optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments. Ces technologies comprennent les systèmes intelligents capables de gérer la demande d'énergie des dispositifs de contrôle de la température, ainsi que de l'éclairage et du matériel auxiliaire. Les TIC ne se limitent pas aux bâtiments individuels. Des applications telles que les interfaces ouvertes avec les services publics facilitent les échanges d'énergie à l'échelle du voisinage (Commission européenne, 2009a).



Reproduit avec la permission de Fluke Corporation

Figure 4.3

Systèmes intégrés de stockage et de production de l'énergie à l'échelle du quartier

Tous les bâtiments dans un quartier peuvent être reliés par les TIC. De plus, ces bâtiments peuvent être connectés à des systèmes d'énergie intégrés qui permettent de produire et de stocker l'électricité localement.

Un voisinage peut être composé de bâtiments, de maisons, d'établissements commerciaux et d'usines, qui ont tous des besoins énergétiques. Dans un système d'énergie intégré, ces structures sont liées les unes aux autres ainsi qu'aux systèmes de production et de stockage de l'énergie. Ces liens montrent qu'avec les TIC, les bâtiments ne sont plus isolés, mais servent plutôt de points de connexion dans le flux de données et de ressources. Le flux entre les bâtiments peut être sous forme d'énergie, de données, d'eau, de ressources, de personnes ou de biens. Cette interconnectivité peut intégrer des indicateurs clés de la durabilité comme une meilleure gestion des ressources, l'efficacité énergétique et le bien-être humain. De nombreuses possibilités s'offrent pour que les bâtiments jouent un rôle plus important au sein d'une collectivité intelligente : un système de systèmes qui informe les gens de ce qu'ils peuvent mieux faire, tant à l'intérieur du bâtiment qu'à l'extérieur.

Encadré 4.8

Programme de renouvellement des tours de la ville de Toronto

Entre 1950 et 1980 plus de 1 000 bâtiments résidentiels à logements multiples ont été construits dans la ville de Toronto (Ville de Toronto, 2011). À l'époque, les bâtiments ont été construits en utilisant des structures en béton, un concept alors populaire qui accordait peu d'importance à l'efficacité énergétique. Avec une collection de bâtiments vieillissants, surpeuplés et énergivores, la ville a lancé le projet de renouvellement des tours. L'objectif était de transformer les immeubles d'habitation âgés de Toronto pour bâtir une ville plus verte, et récolter des avantages sociaux et économiques. Après avoir suivi la réussite des initiatives menées sur des sites pilotes à différents endroits à Toronto, une stratégie de déploiement à l'échelle de toute la ville a été élaborée en vue d'être mise en œuvre entre 2011 et 2030. Le programme englobe des projets de taille variable, dont certains sont axés sur les TIC, y compris ceux qui visent à réduire la consommation d'électricité (p. ex. des capteurs de lumière) et ceux qui visent à accroître la sécurité des locataires (p. ex. l'installation d'un système de clé numérique pour l'accès au bâtiment). Les résultats des sites pilotes ont démontré que les initiatives produisant la meilleure gamme d'avantages étaient celles dont la portée était la plus complète (Ville de Toronto, 2011).

Pratique prometteuse
Dimension des bâtiments intelligents des villes durables, Morgenstadt, Allemagne

Fraunhofer, en Allemagne, la plus grande organisation européenne de recherche appliquée, a entrepris un projet de recherche axé sur la future ville de Morgenstadt. Le projet se concentre sur ce qui est nécessaire pour faire une ville neutre en carbone, adaptée au climat et répondant aux « besoins de la population dans les domaines de la santé, de la sécurité, de la communication, de la mobilité, de l'énergie et de l'environnement » [traduction] (Fraunhofer, 2012). Actuellement, 15 instituts collaborent à des projets de recherche interdisciplinaires sur les questions touchant à l'énergie, à la logistique, à la mobilité, aux bâtiments et aux processus urbains, entre autres.

Une approche clé pour la modernisation des bâtiments est d'utiliser des sources d'énergie locales comme l'énergie solaire pour parvenir à une efficacité énergétique maximale et, si possible, l'autosuffisance énergétique. Un volet du programme de recherche a été la construction de la « maison efficiente plus » à Berlin, qui a ouvert en décembre 2011 (Fraunhofer, 2012). La maison dispose de plusieurs innovations en lien avec l'efficacité énergétique, y compris des panneaux photovoltaïques placés sur le toit et les murs. L'énergie produite est utilisée dans la maison, et l'énergie excédentaire est stockée dans des batteries qui sont utilisées pour alimenter les véhicules électriques. En mars 2012, une famille de quatre personnes a emménagé dans la maison, qui compte trois chambres et deux salles de bains (Detail Das Architekturportal, 2012).

Les résultats préliminaires sur la consommation et la production d'énergie de la maison entre mars 2012 et février 2013 ont été publiés (Erhorn *et al.*, 2013). Malgré un rendement de l'énergie solaire inférieur à la moyenne au cours de l'année, l'énergie produite par la maison a dépassé les besoins énergétiques de ses occupants. Le surplus produit a servi à fournir environ 25 % de l'énergie nécessaire aux voitures électriques de la famille. La consommation d'énergie de la maison a été significativement plus élevée que prévue (75 %), un écart attribué à l'inefficacité du système de chauffage, une consommation d'électricité par les appareils plus élevée que prévue et l'entrée non contrôlée d'air de l'extérieur dans le système de ventilation (Erhorn *et al.*, 2013).

4.3.3 Défis

Malgré les avantages potentiels d'un environnement bâti plus intelligent, un certain nombre de défis entravent l'exploitation de ces possibilités. Le clivage entre le propriétaire et l'occupant est propre aux immeubles résidentiels

ou commerciaux locatifs. Dans certains cas, bien que le propriétaire fasse l'investissement financier dans une application des TIC, c'est le locataire qui en récolte les fruits (p. ex. une diminution des factures d'électricité en raison d'une consommation réduite). Par conséquent, aucune des parties n'a intérêt à adopter une technologie donnée. En outre, comme dans le secteur des services publics, les coûts irrécupérables associés aux bâtiments peuvent faire obstacle à la mise en œuvre de nouvelles applications des TIC, même si elles peuvent être économiquement avantageuses.

4.3.4 Résumé

Les bâtiments sont une partie intégrante du cadre matériel de la vie des Canadiens, servant de centres d'activités personnelles et commerciales. Au Canada, comme dans de nombreuses régions du monde développé, le niveau de vie et les activités quotidiennes sont orientées vers un parc de bâtiments qui sont de gros consommateurs d'énergie et producteurs d'émissions de GES. Les TIC peuvent jouer un rôle important en vue d'améliorer la performance environnementale des bâtiments et des voisinages. Des possibilités existent pour concevoir un environnement bâti plus efficace et pour faciliter l'exploitation durable des bâtiments. L'interconnectivité du milieu bâti offre des possibilités pour intégrer des indicateurs clés de la durabilité comme la meilleure gestion des ressources, l'efficacité énergétique et le bien-être au niveau individuel et collectif.

4.4 MOBILITÉ INTELLIGENTE INTERCONNECTÉE

À pied, à vélo, en voiture ou en autobus, le transport est essentiel aux déplacements des personnes entre leur domicile et leur lieu de travail et de divertissement, et aux déplacements des biens entre l'endroit où ils sont produits et celui où ils seront utilisés ou consommés. Améliorer l'efficacité de l'aire de mobilité et des liens entre ses composantes pourrait avoir un impact profond sur la durabilité au Canada.

> Les infrastructures de transport consomment des ressources qui peuvent servir à d'autres usages (logement, loisirs, etc.) et les voitures consomment des ressources qui peuvent aussi servir à d'autres usages (produits chimiques, nourriture, chauffage, etc.). « Y a-t-il quelqu'un qui croit que rien de plus que de faibles pourcentages des ressources consacrées à la voiture correspond à une utilisation optimale? »
>
> (Wellar, 1975)

La vaste étendue du Canada et son relief et son climat variés rendent les déplacements et le déploiement des gens et des biens problématiques. Il est reconnu depuis longtemps que des changements sont nécessaires pour que le Canada puisse bénéficier d'un système de transport qui soit écologiquement, économiquement et socialement durable (voir, par exemple, Wellar, 1975). Étant donné que les secteurs du transport et de la logistique font partie du même système de mobilité, ils devraient être examinés ensemble dans toute étude des possibilités offertes par les TIC.

4.4.1 Déterminants de la mobilité intelligente interconnectée au Canada

Différents modes de transport, tels que les véhicules routiers privés, le transport en commun, le train, l'avion, le bateau, le vélo et la marche à pied, sont souvent envisagés séparément. La mobilité intelligente interconnectée considère toutefois tous les modes de transport comme faisant partie de la même aire de mobilité, indépendamment de ce qu'ils déplacent (c.-à-d. des personnes ou des biens). L'intégration des composantes de l'aire globale de mobilité est l'une des possibilités transformatrices des TIC.

Le vaste réseau de transport intercontinental du Canada est constitué de routes revêtues et non revêtues, de chemins de fer, de voies aériennes et de voies d'eau, ainsi que de nombreux réseaux logistiques comprenant des centres de distribution, des entrepôts, des ports, des flottes multimodales, des systèmes de manutention et d'entreposage, ainsi que des systèmes d'information et de décision. Ces réseaux de mobilité sont nécessaires pour permettre aux gens de se déplacer entre leur domicile et d'autres endroits (p. ex. pour se rendre au travail ou magasiner) et pour leur donner accès aux produits qu'ils recherchent et dont ils ont besoin. Plus d'un million de kilomètres de routes équivalant à deux voies qui sillonnent le pays sont partagées par environ 20 millions de véhicules légers et 750 000 camions moyens et lourds (Transports Canada, 2012b). Beaucoup de gens au Canada voyagent aussi par les airs, près de 80 millions de passagers ayant transité par les aéroports canadiens en 2011, et par chemin de fer, utilisant plus de 46 000 kilomètres de voies ferrées canadiennes. En outre,

les infrastructures liées au transport (y compris le transport en commun et la construction et l'entretien des routes et des ponts) représentent une dépense importante pour tous les gouvernements (Transports Canada, 2012b).

Le transport est un secteur important de l'économie canadienne; les services de transports contribuent directement pour 4,2 % du PIB du pays (Transports Canada, 2012b). Le transport est également essentiel au commerce. L'industrie du camionnage a transporté 507 millions de tonnes de marchandises vers des destinations nationales et 85,1 millions de tonnes vers des destinations internationales en 2008, tandis que 353,3 millions de tonnes de marchandises ont été acheminées par les chemins de fer canadiens en 2007 (Transports Canada, 2012b, 2012a). Le transport des marchandises est responsable de 95 % des quelque 10 milliards de dollars générés par le secteur ferroviaire annuellement. Les voies aériennes sont aussi importantes pour le transport des marchandises, avec 739 millions de tonnes de marchandises payantes transportées en 2010 (Transports Canada, 2012b).

Compte tenu de la géographie et de la distance entre les grands centres urbains du Canada, il n'est pas étonnant que le secteur ait une large empreinte environnementale. Les émissions liées au transport représentaient 170 Mt éqCO_2 en 2011, soit 24 % des émissions totales de GES du Canada (ce qui est plus élevé que tout autre secteur) (Environnement Canada, 2013c). Des 170 Mt éqCO_2, 56 % étaient attribuables au transport des passagers (principalement les véhicules personnels), 36 % au transport des marchandises, et le reste provenait d'autres véhicules (p. ex. les véhicules récréatifs). Il y a aussi d'autres effets sur l'environnement : ainsi, le transport est responsable du rejet de plusieurs autres polluants atmosphériques. Notamment, les sources mobiles sont responsables de plus de 50 % de toutes les émissions de NOx et, à l'exclusion de sources naturelles, de plus de 20 % de tous les composés organiques volatils (COV) (Environnement Canada, Division des inventaires et rapports sur les polluants, 2014). Les répercussions sur la santé des émissions liées au transport sont importantes : le bureau médical de Santé de Toronto estime que la pollution atmosphérique causée par le trafic provoque 440 décès prématurés et 1 700 hospitalisations annuellement dans cette seule ville (McKeown, 2007).

La congestion routière est un sérieux problème qui peut avoir de lourdes conséquences sociales et économiques, en plus d'effets environnementaux. L'OCDE (2010b) estime que les embouteillages coûtent 3,3 milliards de dollars annuellement aux navetteurs de la ville de Toronto, tandis que le Texas A&M Transportation Institute a calculé qu'aux États-Unis, la congestion routière s'est soldée par 5,5 milliards d'heures de déplacement supplémentaires pour les

personnes vivant dans les centres urbains, correspondant à 2,9 milliards de gallons d'essence et un coût total de 121 milliards de dollars (Schrank *et al.*, 2012). Un autre déterminant économique pourrait être l'augmentation récente des prix de l'essence, étant donné que les particuliers, les entreprises et les gouvernements cherchent à réduire leurs coûts de carburant. Les Canadiens dépensent actuellement plus en énergie pour les transports que pour l'énergie dans n'importe quel autre secteur, soit 63 milliards de dollars en 2009 (Ressources naturelles Canada, 2012).

4.4.2 Possibilités

De nombreuses applications importantes des TIC liées à la mobilité peuvent être regroupées en cinq catégories :

- changer le fonctionnement des véhicules;
- changer le comportement des conducteurs;
- améliorer les réseaux de transport;
- utiliser la logistique intelligente interconnectée;
- réduire les besoins de déplacement.

(Liste étendue inspirée de Kay *et al.*, 2010)

Les cinq catégories couvrent plusieurs dimensions des transports et de la logistique, et les possibilités se chevauchent dans bien des cas. Même si l'impact de certaines possibilités décrites ci-dessous peut sembler limité, leur impact global pourrait être beaucoup plus grand. À titre d'exemple, la GeSI estime que la mise en application de plusieurs technologies de transport intelligentes pourrait conduire à une réduction de 55 Mt éqCO_2 des émissions de GES du secteur des transports d'ici 2020 (GeSI, 2012), ce qui représenterait une baisse de plus de 30 % par rapport aux émissions de ce secteur en 2011 (Environnement Canada, 2013c). De plus, tel que mentionné ci-dessus, le plus grand potentiel des TIC pourrait être de faire tomber les barrières artificielles qui existent entre le transport et la logistique, entre les différents modes de transport et entre le transport des marchandises et celui des personnes.

Bien qu'aucune technologie unique ne soit utilisée pour toutes les possibilités des TIC liées à la mobilité, la plupart des applications dans les cinq catégories utilisent les composants techniques décrites au chapitre 3. De nombreuses possibilités dépendent de réseaux rapides et fiables pour transmettre les données recueillies par les capteurs, tandis que la virtualisation permet le stockage et le traitement des données dans le nuage. Enfin, dans bien des cas, les données recueillies sont utilisées plus efficacement dans des applications personnelles et professionnelles qui permettent de les présenter d'une manière claire et ciblée.

Changer le fonctionnement des véhicules

Les TIC peuvent être utilisées de diverses façons pour réduire l'impact environnemental des divers types de véhicules, en améliorant leur efficacité globale et en s'assurant qu'ils fonctionnent à un niveau d'efficience maximale en tout temps. L'impact de caractéristiques simples telles que les capteurs de pression des pneus, qui envoient un message à une application de téléphone intelligent lorsque la pression est faible, peut être important. Une étude réalisée au Royaume-Uni a constaté que 95 % des véhicules dans ce pays avaient au moins un pneu insuffisamment gonflé (totallymotor.co.uk, 2008). Maintenir les pneus en état optimal peut réduire jusqu'à 3 % les émissions de GES des véhicules (WWF–Suède, 2008).

Un jour dans la vie

Ray, Vancouver

16:00 (HNP)

Presque tous les jours, Ray, le collègue de Deena, partage sa voiture avec d'autres personnes, et il met son trajet quotidien maison–bureau à la disposition des programmes de planification des déplacements de ses collègues de travail. Bien que les voitures soient généralement plus lentes que le transport en commun et moins écoénergétiques, certains préfèrent ce mode de transport. Grâce aux progrès de la technologie des batteries, Ray peut avoir son propre véhicule sans avoir à dépendre des combustibles fossiles.

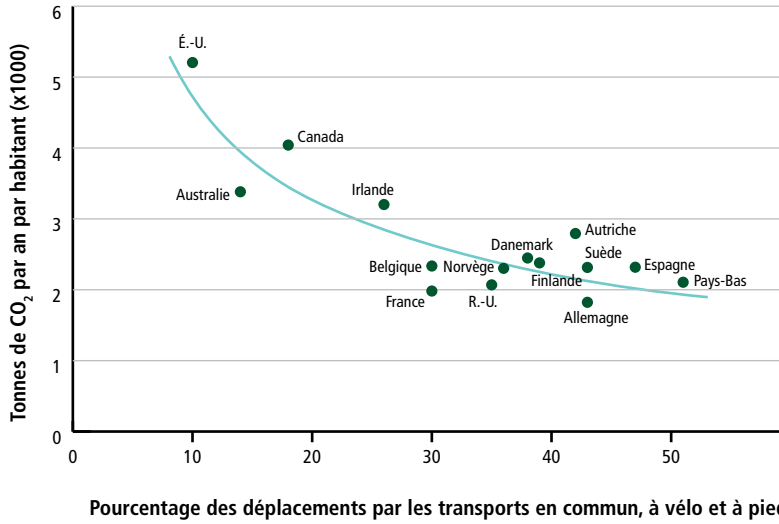
De 1990 à 2009, des améliorations importantes ont été apportées sur le plan de l'efficacité énergétique, avec des baisses de l'intensité énergétique du transport des passagers (c.-à-d. l'énergie nécessaire pour déplacer une personne sur un kilomètre) de 19 % pour les voitures et de 29 % pour les autobus et le transport urbain (Ressources naturelles Canada, 2012). Bien que ces améliorations ne soient pas uniquement attribuables aux TIC, des applications telles que les capteurs et les actionneurs à base de semi-conducteurs installés dans les moteurs sont responsables d'une partie des améliorations observées (Laitner *et al.*, 2010). La réglementation actuelle et proposée améliorera encore l'efficacité énergétique globale (TPSGC, 2010; Environnement Canada, 2012; Ministre de la Justice, 2013b). Les améliorations proviendront du perfectionnement des moteurs des véhicules à essence classiques et de l'augmentation du choix de véhicules utilisant d'autres sources d'énergie, comme les véhicules hybrides ou entièrement électriques. Tel qu'indiqué à la section 4.2, les TIC sont nécessaires pour intégrer pleinement les véhicules électriques et hybrides-électriques au réseau et profiter de ces véhicules pour le stockage de l'énergie.

Changer le comportement des conducteurs

Changer le comportement des conducteurs comporte plusieurs dimensions, y compris les encourager à conduire de manière plus efficiente, leur fournir de l'information utile sur l'écoconduite et influencer le choix du mode de déplacement. Les TIC ont le potentiel de permettre aux gens, aux entreprises et aux gouvernements de faire des choix durables en matière de transport et de changer leur façon de concevoir les transports.

Certaines TIC simples sont utilisées depuis longtemps pour influencer le comportement des conducteurs, par exemple les limites de vitesse appliquées à l'aide de vélocimètres et le recours à la vérification du poids des camions à des points de contrôle routiers. La réduction de la vitesse a des avantages sociaux sous la forme d'une plus grande sécurité routière, mais aussi des avantages environnementaux parce que le fait d'abaisser la vitesse des véhicules permet de réduire les émissions de CO_2 (Committee on Climate Change, 2009). Parmi les autres dimensions de l'écoconduite, il y a la conduite avec les fenêtres fermées, l'utilisation modérée du climatiseur et de la chaufferette, et la réduction du poids excédentaire. Les applications des TIC montées sur les téléphones intelligents intégrés aux véhicules pourraient servir pour informer les conducteurs des avantages environnementaux et économiques des pratiques d'écoconduite.

Le plus grand potentiel des applications fondées sur les TIC en vue de changer le comportement des conducteurs est la possibilité d'influencer le choix du mode de déplacement des gens. Le nombre de véhicules circulant sur la route est en hausse : entre 1990 et 2009, le nombre de véhicules sur les routes canadiennes a augmenté de 35 %, pour atteindre 19,2 millions (Ressources naturelles Canada, 2012). Cette augmentation n'est pas seulement le résultat de la croissance de la population; durant cette période, le nombre de voitures par personne âgée de 18 ans ou plus a progressé de 0,68 à 0,71 (Ressources naturelles Canada, 2012). La figure 4.4 illustre la relation entre le mode de transport et les émissions de CO_2 par habitant; elle montre que les pays où un pourcentage élevé des déplacements urbains se font par les transports en commun, à vélo ou à pied ont un plus faible niveau d'émissions par habitant (Buehler et Pucher, 2011). Il est important de noter qu'étant donné que plusieurs des pays du groupe de tête sont plus petits et plus densément peuplés que le Canada, les États-Unis et l'Australie, ils auraient des niveaux inférieurs d'émissions de CO_2 par habitant provenant du transport routier et ferroviaire. En outre, la géographie du Canada rend le transport multimodal essentiel dans certains cas. Néanmoins, il y a encore place à l'amélioration dans le transport urbain au Canada en privilégiant les transports en commun, le vélo et la marche à pieds.



Reproduit avec la permission de Taylor & Francis Ltd, http://www.tandf.co.uk/journals
Source des données : Buehler et Pucher, 2011

Figure 4.4

Rapport entre le pourcentage de déplacements faits par les transports en commun, à vélo ou à pied et les émissions de GES par habitant provenant du transport ferroviaire et routier dans certains pays

Les émissions annuelles de CO_2 par habitant provenant du transport routier et ferroviaire dans un pays ont un rapport inverse avec le pourcentage de déplacements que les gens font par les transports en commun, à vélo ou à pied.

Des outils simples tels que les applications de planification de voyage, qui incorporent des indicateurs sur l'environnement, la santé et les coûts, en plus du temps, peuvent encourager les gens à prendre leur vélo ou à marcher au lieu de conduire. Cela peut se faire, par exemple, en affichant la quantité d'émissions de CO_2 qui ne seront pas produites et les calories brûlées lorsqu'une personne choisit de marcher sur une courte distance plutôt que de prendre sa voiture. C'est le concept à la base du site Web WalkIt au Royaume-Uni, qui a connu un certain succès : des sondages montrent que près de 80 % des utilisateurs ont opté pour la marche au lieu d'un mode de transport motorisé au moins une fois (Forum pour l'avenir, 2009).

Le plus grand potentiel d'impact des TIC en vue de changer le comportement des passagers pourrait être d'encourager les gens à délaisser le transport privé au profit du transport public. Cela revêt beaucoup d'importance dans le contexte canadien parce que, à l'heure actuelle, la grande majorité des dépenses de

consommation pour le transport (90 %) va à des modes de transport privé (Transports Canada, 2012b). Selon une enquête de suivi à l'échelle mondiale effectuée par le National Geographic et GlobeScan Incorporated (2012), 36 % des Canadiens n'utilisent jamais le transport en commun, tandis que 16 % l'utilisent une fois par an ou moins.

En plus des avantages liés au simple fait d'avoir moins de véhicules sur la route, le transport en commun comporte d'autres avantages sociaux et économiques. À titre d'exemple, une étude de l'Université de Leeds a constaté que le système de transport public en Grande-Bretagne a soutenu « l'économie urbaine moderne » d'un grand nombre de façons, notamment en « facilitant une meilleure adéquation entre les personnes et les emplois et une augmentation de la participation au marché du travail », en « améliorant l'accessibilité à l'éducation et à la formation, en particulier pour les gens vivant dans des milieux défavorisés » et en « soutenant la vitalité des centres urbains » [traduction] (Mackie *et al.*, 2012). De nombreuses applications peuvent améliorer le transport en commun, y compris celles qui fournissent des renseignements en temps réel sur les trajets de transport en commun et les temps d'attente, sur les téléphones intelligents ou sur des écrans installés dans les gares.

Pratique prometteuse

Transports en commun à Vienne, en Autriche

Vienne a été mentionnée parmi les meilleures villes pour ce qui est de son système de transport en commun (Siemens AG, 2009; Textor, 2010). La ville bénéficie d'une bonne couverture, avec un peu moins de 99 % de toutes les écoles et 96 % des immeubles résidentiels et à bureaux situés à moins de 300 mètres d'un arrêt d'autobus ou de tramway et à 500 mètres d'une station de métro (Siemens AG, 2009). Le service est par ailleurs bien utilisé; ainsi, du lundi au vendredi, un plus grand nombre de trajets s'effectuent par les transports en commun que dans des véhicules privés (35 % contre 32 %) (Siemens AG, 2009).

La réussite du système de transport public de Vienne comporte de nombreuses dimensions et les TIC y jouent un rôle. Le transport en commun est géré par Wiener Linien, un organisme appartenant à la ville, et comprend des rames de métro, des autobus et des tramways. Récemment, la ville a profité de l'infrastructure existante du service de tramway pour alimenter les nouveaux autobus électriques et elle dispose désormais d'une flotte complète de ces autobus au centre-ville. Les collecteurs de courant sont automatiquement activés dans les stations de charge (en fin de ligne) en utilisant les lignes électriques aériennes des tramways et, durant la nuit, ils sont

suite à la page suivante

entièrement rechargés dans leur garage (Wien.at, s.d.). Les responsables de la ville de Vienne prévoient que ces nouveaux autobus réduiront les émissions de dioxyde de carbone dans la ville d'environ 300 tonnes par an (MacDonald, 2013).

Wiener Linien tire parti des TIC pour susciter la participation des utilisateurs et faire de la publicité s'adressant directement à différents groupes. Il a un site Web distinct pour les jeunes utilisateurs (www.rideontime.at), en plus de son site principal (Siemens AG, 2009). Ce site dirige maintenant le lecteur vers sa page Facebook, qui compte des mises à jour régulières sur le transport en commun et d'autres fonctionnalités telles que des photos historiques et des idées de voyages courts (Wiener Linien, 2013). À titre d'exemple, après une chute de neige importante en 2013, une carte des meilleurs endroits pour faire de la luge dans la ville a été publiée, ainsi que des renseignements sur la façon de s'y rendre en utilisant les transports en commun.

Wiener Linien a également été un partenaire dans le développement d'une plateforme visant à fournir des renseignements multimodaux détaillés sur la façon de se rendre d'un endroit à un autre. L'application SMILE vise à simplifier la planification des déplacements et à démontrer les avantages du transport en commun en permettant aux utilisateurs d'envisager tous les modes de transport, comparer différents itinéraires de voyage (p. ex. la voiture et le train, par rapport à l'autobus et le train) et réserver et payer les billets de passage (Gara, 2012).

Améliorer les réseaux de transport

En plus de contribuer à l'amélioration de l'efficacité des conducteurs, des transporteurs et des véhicules, les TIC ont le potentiel d'augmenter l'efficacité de l'ensemble du réseau de transport de façons qui concourent à une plus grande durabilité en matière de déplacements. Un plus grand accent mis sur la planification urbaine et régionale englobant la planification de la circulation et la prévision de l'évolution du trafic peut aboutir à un réseau de transport plus efficace tout en réduisant les besoins en infrastructure routière et en permettant des économies en ressources et en argent.

Les applications entrant dans cette catégorie peuvent être réparties entre celles qui permettent à tout le trafic routier d'évoluer plus librement et celles qui rendent le transport en commun plus efficace (et, partant, plus attrayant que les déplacements en voiture privée) (Kay *et al.*, 2010). Les possibilités liées aux premières incluent des outils de gestion du stationnement, de tarification en fonction de la congestion à l'aide de caméras (avec le potentiel de faire un lien entre les tarifs et des facteurs tels que l'efficacité énergétique des véhicules et l'heure de la journée, par exemple) et de gestion active de la circulation, où

les TIC sont utilisées pour suivre la congestion et la vitesse de déplacement, en offrant des itinéraires de contournement aux automobilistes à l'aide de panneaux électroniques (Kay *et al.*, 2010). En outre, des systèmes de feux de circulation intelligents pourraient être utilisés pour réduire le nombre de voitures forcées de s'arrêter alors qu'il n'y a pas de circulation dans les voies transversales et synchroniser les flux de circulation dans les zones de trafic intense. Entre autres exemples de TIC qui peuvent être appliquées pour améliorer l'efficacité du transport en commun, il y a les applications qui donnent un signal de priorité aux véhicules de transport en commun, permettant aux autobus de se déplacer plus rapidement à travers la ville, et les systèmes de signalisation informatisés qui permettent aux rames de métro de circuler plus près les unes des autres et d'assurer ainsi un service plus fréquent.

Utiliser la logistique intelligente interconnectée

La GeSI a identifié l'optimisation du réseau logistique (logistique intelligente) comme la sous-catégorie du transport intelligent ayant le plus grand potentiel de réduction des GES. L'organisme a estimé que les émissions de GES liées au transport pourraient être réduites de 14,3 Mt éqCO_2 par an d'ici 2020 en utilisant des applications des TIC (GeSI, 2012). La logistique intelligente ne s'applique pas uniquement au transport routier, mais un grand nombre de possibilités sont liées ou peuvent être appliquées à ce mode.

Un jour dans la vie

Ray, Vancouver

17:00 (HNP)

En rentrant du travail, Ray s'arrête à un centre urbain situé près de son bureau et ramasse trois conteneurs modulaires renfermant de la confiture produite localement. Ces conteneurs modulaires sont destinés à un autre centre urbain, situé à côté de l'immeuble en copropriété où demeure Ray; il peut donc les déposer facilement sans s'écarter de son chemin. Ray transporte des conteneurs entre ces deux centres urbains une fois par semaine et il reçoit un montant fixe pour chaque conteneur transporté parce qu'il contribue ainsi à la mobilité des marchandises et à réduire le besoin de faire circuler des camions sur la route.

Les avantages potentiels de la logistique intelligente interconnectée ne sont pas seulement d'ordre environnemental. L'amélioration de la logistique procure aussi des avantages économiques distincts aux entreprises canadiennes. En 2008, les coûts de gestion de la chaîne logistique et d'approvisionnement des entreprises canadiennes ont été significativement plus élevés que ceux des entreprises américaines : 30 % de plus pour les détaillants, 18 % de plus pour les grossistes et 12 % de plus pour les fabricants (Industrie Canada, 2008). Une étude récente a estimé que si 25 % de la chaîne d'approvisionnement aux États-Unis adoptait les principes physiques d'Internet pour la mobilité du transport des marchandises interconnecté (voir l'encadré 4.9), cela se traduirait par des gains annuels de 100 milliards de $US en bénéfices; les consommateurs américains paieraient moins cher leurs produits et il y aurait une réduction de 32 % des émissions de GES imputables à la logistique (Meller et Ellis, 2013).

Le transport des marchandises à travers le pays et à l'étranger est une industrie importante au Canada, le camionnage comptant à lui seul au-delà de 56 000 entreprises qui emploient plus de 200 000 personnes (Transports Canada, 2012b). La logistique des marchandises comprend plusieurs étapes, dont l'emballage, le déplacement (transport et manutention) et l'entreposage, et ce réseau logistique peut souvent être très inefficace. À titre d'exemple, 20 % du nombre total de kilomètres-camions aux États-Unis ont été parcourus avec une remorque vide en 2009 (McKinnon, 2009). La nature actuelle de la logistique de nombreuses entreprises les oblige à stocker de grandes quantités de produits dans des entrepôts et des centres de distribution. Comme c'est le cas pour les infrastructures d'eau et d'électricité, ces entrepôts sont souvent construits en fonction de la capacité requise en période de pointe et de la nature saisonnière de la plupart des produits, ce qui signifie qu'ils sont sous-utilisés la plupart de l'année (Montreuil, 2011).

Marchet *et al.* (2009) ont classé les types d'applications disponibles pour la logistique en quatre catégories :

- la gestion des transports;
- l'exécution de la chaîne d'approvisionnement;
- l'automatisation de la force sur le terrain;
- la gestion du parc et des marchandises.

Les définitions ainsi que des exemples des possibilités qui s'offrent dans chaque catégorie sont présentés brièvement au tableau 4.2.

Tableau 4.2
Les applications des TIC pour la logistique

Type d'applications	Définition	Exemples ou fonctionnalités typiques
Gestion des transports	Les outils de soutien à la planification, à l'optimisation et à l'exécution des tâches logistiques	Routage et planification, suivi de la livraison
Exécution de la chaîne d'approvisionnement	La gestion et l'automatisation des outils pour l'écoulement de la production au cours des différentes étapes du processus de transport	Échange d'informations (p. ex. pour le traitement des commandes et la numérisation des documents de transport)
Automatisation de la force sur le terrain	Les outils mobiles pour soutenir l'intégration de la main-d'œuvre éloignée d'une entreprise et des processus d'entreprise	Accès à l'information ou aux formulaires du bureau par les travailleurs de première ligne; traitement des commandes sur place
Gestion du parc et des marchandises	Les outils de production de rapports qui mesurent les caractéristiques du parc	Accès aux données en temps réel permettant une gestion dynamique (p. ex. le temps de déplacement du véhicule, la température du chargement)

Lambert *et al*., 1998; Gilmore & Tompkins, 2000; Mason *et al*., 2003; Rodina *et al*., 2003; Zeimpekis & Giaglis, 2006; Marchet *et al*., 2009; Perego *et al*., 2011

Encadré 4.9
L'Internet physique

L'Internet physique (IP) est un concept visant à améliorer la façon dont les objets physiques sont déplacés, entreposés, réalisés, fournis et utilisés à travers le monde. L'IP fonctionne de façon similaire à l'Internet numérique, mais pour le mouvement de paquets physiques plutôt que des paquets d'information numériques. En envisageant les réseaux logistiques interconnectés comme une entité semblable à l'Internet numérique, différents paquets peuvent être vus comme des unités standard, indépendamment de leur taille, de leur masse, ou de la distance qu'ils doivent parcourir. Globalement, l'IP conduirait à une logistique plus efficace et permettrait une réduction des émissions de GES (et d'autres polluants atmosphériques), ainsi que des coûts et des retards liés au transport et à l'entreposage des marchandises (Montreuil, 2011; Montreuil *et al*., 2013).

suite à la page suivante

Un des éléments inhérents au concept d'IP est l'utilisation de conteneurs modulaires standardisés pour faciliter la logistique (Montreuil, 2011). Ces conteneurs seraient faits de matériaux écologiques et auraient une taille variable, allant de cartons et de palettes à des conteneurs de marchandise. Pour maximiser les avantages de ces conteneurs, ils ont besoin d'être intelligents et les TIC sont ici essentielles. En attachant des étiquettes intelligentes sur les conteneurs, ceux-ci deviennent des objets intelligents capables de communiquer. Cela faciliterait toutes les étapes du transport, y compris l'identification, le routage et l'entretien, et permettrait la standardisation du processus logistique. En outre, l'utilisation de ces conteneurs intelligents pour différents types de marchandises permettrait aux entreprises de mettre plus facilement des ressources en commun. À titre d'exemple, un camion pourrait être chargé à pleine capacité de marchandises conteneurisées provenant de différentes entreprises sans se soucier de confondre les expéditions.

L'IP permettrait une évolution des mouvements de marchandises vers un modèle de transport interconnecté, dans lequel le système de transport point à point et la structure classique en étoile sont remplacés par un système ouvert plus efficace profitant du transport multimodal à multi-segments entre des centres clairement distribués (Montreuil, 2011). Bref, alors qu'il faut environ 120 heures à un seul conducteur pour faire une livraison de Los Angeles à Québec, un total de 17 conducteurs pourraient livrer l'objet en seulement 60 heures en le transférant entre camions dans des centres désignés, ou en utilisant le train pour franchir certains segments clés.

Une autre dimension de l'IP est la distribution interconnectée, qui s'éloigne de la construction et de l'exploitation, par chaque entreprise, de son propre réseau de distribution, limitant ainsi l'entreposage de ses produits aux centres de distribution (CD) qu'elle possède ou loue (Montreuil, 2011). Au lieu de cela, le modèle permettrait aux entreprises de déployer leurs produits de façon dynamique près des points d'utilisation grâce à un réseau de CD ouverts répartis sur leurs marchés. Ces centres ouverts seraient conçus pour gérer les conteneurs modulaires standardisés de l'IP. Les entreprises paieraient pour leur utilisation uniquement en fonction de leurs besoins.

Réduire les besoins de déplacement

Réduire les besoins de déplacement est une autre initiative où les TIC peuvent améliorer la qualité de vie tout en ayant des effets positifs sur l'environnement. Des applications telles que le télétravail, facilité par la connectivité virtuelle à un lieu d'affaires, peuvent abaisser les émissions de GES grâce à une réduction des déplacements; elles peuvent aussi être socialement et économiquement avantageuses pour les employés (p. ex. moins de temps perdu en déplacements

et diminution des coûts de transport) et augmenter leur productivité (Lister et Harnish, 2011). Un rapport de 2010 commandé par le Carbon Disclosure Project a compilé des études de cas provenant de 15 entreprises figurant sur la liste Global 500 et est arrivé à la conclusion que la téléconférence offre un rendement rapide sur l'investissement, soit 15 mois, et permet d'éviter des millions de tonnes d'émissions de CO_2 en l'espace d'une décennie (Verdantix, 2010). Le rapport constatait également que les entreprises ayant des revenus annuels de plus de 1 milliard de $US pourraient réaliser des bénéfices de près de 19 milliards de $US d'ici 2020 (Verdantix, 2010). Selon l'OCDE (2010a), une variété de facteurs influencera le télétravail, dont la distance de déplacement, l'éducation et d'autres caractéristiques socioéconomiques. Les effets de second ordre jouent un rôle important dans l'impact global sur l'environnement des initiatives qui réduisent les besoins de déplacement (p. ex. le télétravail) parce que, dans certains cas, ces initiatives peuvent globalement entraîner plus de déplacements. À titre d'exemple, dans le cas de l'adoption du télétravail, les distances à parcourir, l'éducation et la culture d'entreprise devront être prises en compte pour être en mesure de réaliser les avantages environnementaux et sociaux prévus (Fuchs, 2008; OCDE, 2010a).

4.4.3 Défis

Outre l'importance des effets de second ordre, d'autres défis peuvent entraver le développement d'une mobilité intelligente interconnectée. Le système de transport est complexe et les défis inhérents à l'exploitation réussie des possibilités offertes par les TIC varient selon l'aspect du système que touche une possibilité. Dans les cas où elle influe sur la prise de décision du consommateur (p. ex. le choix du mode de transport à emprunter), les défis liés au comportement humain (et les effets de second ordre) seront notables, comme le seront les coûts de mise en œuvre dans certains cas. En particulier, la mise à niveau des réseaux de transport en commun ou des systèmes logistiques de grande envergure nécessitera des investissements importants qui peuvent être vus comme prohibitifs par les gouvernements ou les entreprises, malgré leurs retombées économiques éventuelles. De même, les coûts de transport irrécupérables peuvent poser un défi aux gouvernements au niveau de la mise en œuvre d'initiatives à grande échelle liées aux TIC.

4.4.4 Résumé

Le transport et la logistique interconnectés par le biais des opportunités liées aux TIC renforcera radicalement la capacité du Canada dans les domaines suivants : i) le transport efficient, durable, synchronisé et multimodal; ii) le déploiement dynamique distribué des biens et des personnes. Des possibilités s'offrent pour changer le fonctionnement des véhicules, changer le comportement des conducteurs et des transporteurs, améliorer les réseaux de déplacement, utiliser

la logistique intelligente interconnectée et réduire les besoins de déplacement. En agissant rapidement, le Canada a le potentiel de devenir un chef de file mondial dans cette transformation.

4.5 PRODUCTION INTELLIGENTE INTERCONNECTÉE

Il est également possible de réduire les besoins de déplacement en abaissant la distance parcourue par les marchandises pour parvenir à leur destination, et en fabriquant des biens ou en produisant des aliments près du lieu où ils seront utilisés ou consommés. Cela fait partie du concept de production intelligente interconnectée, qui englobe également l'amélioration de l'efficience des procédés manufacturiers et agricoles (p. ex. l'utilisation de l'énergie et de l'eau). Compte tenu de l'importance de la fabrication et de l'agriculture au Canada en termes d'impacts environnementaux et économiques, l'amélioration de l'efficience de ces secteurs aura des répercussions significatives sur le développement durable.

4.5.1 Déterminants de la production intelligente interconnectée au Canada

L'industrie manufacturière est l'un des plus grands secteurs de l'économie canadienne, avec une part d'environ 11 % du PIB en 2012, un pourcentage qui avait été relativement stable au cours des quatre années précédentes (Statistique Canada, 2013b). En 2013, le secteur employait 1,74 million de personnes, en baisse par rapport aux années précédentes (Statistique Canada, 2013a). Les secteurs de la construction et de la fabrication de biens durables sont responsables d'environ 60 % de ces emplois, le reste se retrouvant dans la fabrication de biens non durables. Historiquement, l'Ontario (en particulier la région sud) et le Québec ont été les principaux centres de fabrication du Canada (Balakrishnan *et al.*, 2007). À l'heure actuelle, ces deux provinces accaparent environ 73 % des emplois manufacturiers au Canada (Statistique Canada, 2013a).

Bien que le secteur de la fabrication émette moins de GES que le secteur du bâtiment ou celui des transports, ses niveaux d'émissions demeurent importants. L'industrie manufacturière légère (dont la construction et les ressources forestières) est à l'origine de 3,3 % des émissions de GES au Canada (23 Mt éqCO_2), la fabrication des produits chimiques et des engrais, de 3,4 % (24 Mt éqCO_2), et la production de pâtes et papiers, d'un peu plus de 1 % (6 Mt éqCO_2) (Environnement Canada, 2013c). Une diminution de la consommation d'énergie permettrait de réduire les émissions de GES et serait économiquement bénéfique en raison de la baisse des coûts de production. Le secteur manufacturier est également responsable du rejet de plusieurs autres polluants atmosphériques (notamment les COV, SOx et NOx) (Environnement Canada, Division des inventaires et rapports sur les polluants, 2014).

L'agriculture joue aussi un rôle important dans l'économie canadienne avec près de 300 000 exploitants agricoles et plus de 200 000 exploitations occupant 160 millions d'hectares (Statistique Canada, 2012). L'agriculture primaire a enregistré des recettes brutes de 51,1 milliards de dollars en 2010 (Statistique Canada, 2012). L'agriculture a aussi occupé une place centrale dans l'histoire du Canada et elle continue de jouer un rôle important dans la culture canadienne. Comme les consommateurs se préoccupent davantage de l'origine de leurs aliments, le désir de consommer des denrées alimentaires produites localement va en augmentant.

Le secteur agricole est le plus grand consommateur d'eau douce au Canada (66 %), la majorité étant utilisée en irrigation (TRNEE, 2010). Les autres activités consommatrices d'eau dans les exploitations agricoles sont notamment les soins au bétail et le nettoyage du matériel agricole. L'agriculture peut aussi avoir une incidence négative sur la qualité de l'eau en raison de la présence possible dans les eaux de ruissellement de nutriments provenant des engrais (azote et phosphore), de pathogènes et d'autres substances présentes dans les déchets d'animaux ou les pesticides qui perturbent le système endocrinien (Corkal et Adkins, 2008). L'eau contaminée peut avoir un impact négatif sur la qualité de l'eau potable et sur la salubrité de l'écosystème en général.

L'irrigation est certes importante pour l'agriculture canadienne, mais la grande majorité des exploitations sont alimentées par les précipitations (pluie et neige) (Statistique Canada, 2012, 2013d). L'irrigation pourrait toutefois jouer un plus grand rôle dans l'avenir, car elle pourrait éventuellement prémunir les agriculteurs contre l'incertitude engendrée par les changements climatiques. En effet, une irrigation efficiente et d'autres méthodes visant à protéger les ressources en eau (p. ex. les prélèvements d'eau à petite échelle, l'arrosage ciblé) en période de sécheresse et de vagues de chaleur peuvent aider à renforcer

le secteur de l'agriculture au Canada. Les TIC peuvent aussi contribuer à améliorer ces méthodes, notamment l'irrigation, en assurant l'utilisation la plus efficiente possible de l'eau.

Le secteur de l'agriculture génère un peu moins de 10 % des émissions de GES du Canada (68 Mt éqCO_2) et la réduction potentielle découlant de l'utilisation des TIC est minime, car près de la moitié des émissions de ce secteur est attribuable à la production animale (Environnement Canada, 2013c).

4.5.2 Possibilités

Fabrication

La fabrication est souvent un processus complexe faisant intervenir une multitude de technologies, de machines, de gens, d'étapes, de fournisseurs et de clients. Comme l'a décrit Porter (1985), la chaîne de valeur d'une organisation englobe de nombreuses activités qui peuvent avoir un lien avec la compétitivité de l'organisation. Les activités au sein de la chaîne de valeur peuvent être classées comme activités primaires ou de soutien. Les activités primaires comprennent les opérations, la logistique à l'entrée et à la sortie, le marketing et les ventes, et le service, tandis que les activités de soutien englobent l'approvisionnement, l'infrastructure et le développement technologique. Le succès de la chaîne de valeur repose sur l'ensemble de ces activités et la création de liens efficaces entre eux. Les TIC ont le potentiel d'améliorer l'efficience à plusieurs étapes du processus de fabrication. Collectivement, ces améliorations peuvent conduire à des réductions significatives de l'utilisation d'énergie, entraînant une baisse des coûts de fabrication pour l'entreprise. Park *et al.* (2009) ont calculé qu'une baisse de 1 % de la consommation d'électricité dans le secteur de la fabrication à l'échelle mondiale se traduirait par des économies totales de 4,7 milliards de $US.

Bien que des possibilités liées aux TIC existent tout au long du processus de fabrication, le comité d'experts a choisi de se concentrer sur celles qui ont trait à l'activité principale, celle de l'exploitation. Les TIC peuvent améliorer les performances environnementales de la fabrication par le biais :

- d'une amélioration directe de l'efficience du matériel;
- d'améliorations à la planification du processus;
- d'améliorations à l'organisation et au déploiement du système de production.

Des exemples d'applications des TIC pour chacune de ces possibilités sont brièvement présentés ci-dessous, accompagnés, dans l'encadré 4.10, d'un examen de la façon dont l'impression 3D pourrait changer la fabrication.

Efficience du matériel

Un exemple d'amélioration directe de l'efficience du matériel est l'utilisation de moteurs intelligents. Les moteurs sont un élément important de nombreux procédés industriels, mais ils fonctionnent habituellement à plein régime en tout temps, peu importe la demande à satisfaire. Fabriquer des moteurs intelligents, avec des composantes telles que des dispositifs à vitesse variable et des commandes intelligentes, leur permettrait d'ajuster leur charge de sortie en fonction de la demande, ce qui augmenterait leur efficience (GeSI, 2008). Selon la GeSI (2008), l'optimisation des systèmes motorisés devrait accroître leur efficacité énergétique de quelque 30 %. En outre, le fait de rendre intelligentes les différentes composantes du processus de fabrication permettrait une communication entre les machines et les systèmes, ce qui faciliterait encore l'adaptation aux changements de charge et le traitement des demandes.

Planification du processus

Les TIC peuvent contribuer à améliorer l'efficacité de la planification du processus par le biais de diverses d'applications. Ainsi, la cartographie énergétique à l'aide des TIC peut localiser les opérations les plus énergivores dans un procédé de fabrication, permettant à l'entreprise de cibler ces opérations lors d'une mise à niveau. Des scénarios de simulation peuvent comparer différents procédés pour déterminer lequel aura la plus grande efficacité énergétique et sera le plus rentable, tout en répondant aux besoins des clients. De même, des approches axées sur la simulation peuvent être employées pour améliorer la consommation d'eau ou l'efficience de l'utilisation des biens matériels (Commission européenne, 2009b).

Organisation et déploiement du système de fabrication

Les TIC peuvent améliorer l'organisation du système de fabrication de plusieurs façons. Notamment, ils peuvent contribuer au choix de l'emplacement des usines de façon plus stratégique, en visant à réduire au minimum le trafic et la logistique requis. Cela peut contribuer à éloigner la fabrication d'installations centralisées uniques qui desservent de vastes territoires et qui nécessitent des flux entrants et sortants et entraînent de longs délais de livraison pour les clients et les fournisseurs.

Encadré 4.10
Impression 3D

L'impression en trois dimensions (3D) est une technique qui permet aux gens de concevoir et d'imprimer des objets à l'aide d'un ordinateur et d'une imprimante 3D. Contrairement au procédé de fabrication traditionnel, qui suppose le retrait de matières par découpage, perçage ou usinage, l'impression 3D procède par l'ajout de couches successives de matières et est ainsi appelée fabrication additive. Le processus débute par la conception du produit à l'aide d'un logiciel de dessin, qu'un programme convertit ensuite en couches bidimensionnelles qui sont matérialisées grâce à l'imprimante 3D (CSC, 2012). Bien que l'impression 3D existe depuis les années 1980, des progrès techniques et une baisse substantielle des prix ont conduit à une évolution rapide de cette technologie et son application dans de nombreux secteurs, dont les ministères de la Défense, l'aérospatiale, l'automobile, et les industries biomédicales (CSC, 2012; Ehrenberg, 2013; Royte, 2013).

Bien que l'impression 3D ait été utilisée jusqu'à présent surtout pour la production à petite échelle et à volume restreint, Computer Sciences Corporation (une société d'envergure mondiale qui fournit des services de TI) affirme que les produits ainsi obtenus peuvent être de beaucoup supérieurs, plus légers, plus robustes et plus personnalisés que ceux issus des modes de production classiques (CSC, 2012). L'impression 3D permet également de réaliser des produits impossibles à fabriquer, comportant des pièces délicates, des composantes amovibles ou des courbes étranges, déjà assemblés et produits exactement où ils sont requis à un coût inférieur à celui des procédés de fabrication habituels (Ehrenberg, 2013). Les matériaux les plus couramment employés dans le procédé d'impression 3D sont des polymères plastiques; cependant, des machines plus coûteuses peuvent utiliser des matières premières telles que des métaux, de la céramique et d'autres matières spéciales, dont des composés organiques (Ehrenberg, 2013).

Selon la Computer Sciences Corporation, l'un des principaux avantages de l'impression 3D est la capacité de produire des articles sur place, là où ils sont requis, sans avoir à compter sur un stock restreint de pièces de rechange et de vastes chaînes d'approvisionnement qui peuvent être très éloignées ou qui exigent une production à grande échelle (CSC, 2012). L'impression 3D peut aussi éliminer les délais et les coûts que suppose la création d'objets complexes et délicats, et enlever le qualificatif " de masse " de la production de masse, rendant des produits de série limitée plus abordables (Ehrenberg, 2013).

suite à la page suivante

De façon similaire, la taille des stocks et des installations d'entreposage peut être ramenée à une échelle plus modeste, réduisant au minimum les besoins de transport, de manutention et d'entreposage, ainsi que les émissions provenant de l'énergie incorporée à chacune des étapes (Royte, 2013). Une étude récente de l'Université Michigan Tech a révélé que, globalement, « la fabrication distribuée avec des imprimantes 3D à accès ouvert pourrait avoir un impact environnemental plus faible que la fabrication classique pour une variété de produits » (Krieger et Pearce, 2013).

Tout comme l'essor des ordinateurs en réseau a fait baisser le coût des communications et des services liés à l'informatique répartie, l'impression 3D peut réduire le coût, la complexité et l'énergie associée à la fabrication et au transport de nombreux produits et pièces connexes (Ehrenberg, 2013). Un autre élément prometteur de l'impression 3D sur le plan de la durabilité est la polyvalence des matières premières pouvant être utilisées par une imprimante 3D, lesquelles peuvent inclure des plastiques récupérés et recyclés pour la fabrication de toute une variété de produits. Dans l'avenir, il pourrait être faisable de synthétiser les matières premières entrant dans l'imprimante à partir de plusieurs matériaux, dont des déchets industriels, agricoles et autres, qui peuvent être récupérés pour fabriquer des blocs de construction entrant dans de nouveaux produits, contribuant ainsi à fermer la boucle de la production et de l'élimination des matières et à réduire au minimum la quantité de déchets qui se retrouvent dans les sites d'enfouissement.

Alors que l'optimisme sur les avantages de l'impression 3D est justifié, il faut aussi être conscient des répercussions négatives potentielles et des effets de second ordre de l'impression 3D pour des motifs frivoles et la production d'objets n'ayant pas de valeur ajoutée réelle (Ehrenberg, 2013; Royte 2013). Le développement continu responsable de l'impression 3D et ses effets sur la société, la technologie et l'environnement devraient faire l'objet d'un suivi étroit.

Agriculture

Les TIC peuvent jouer un rôle important dans l'agriculture de précision, qui est un système de gestion tirant parti des TIC, pour faciliter la surveillance environnementale et le contrôle des pratiques agricoles (Roblin et Barrow, 2000). L'agriculture de précision vise à i) préciser la répartition spatiale des facteurs qui influent sur la croissance des cultures; ii) gérer cette variabilité spatiale en appliquant des traitements à taux variable des intrants nécessaires (p. ex. l'eau, les produits agrochimiques et les engrais) selon les exigences propres à l'endroit; iii) maximiser la rentabilité; iv) réduire au minimum les effets sur l'environnement (Roblin et Barrow, 2000). Les rendements améliorés rendus

possibles par l'agriculture de précision peuvent aider à atténuer le besoin de recourir à la monoculture intensive, laquelle réduit la biodiversité et risque de dégrader les conditions de culture plus rapidement (p. ex. la santé du sol) (Hall et Dorai, 2010). Les réseaux de capteurs environnementaux sans fil pour la prise de décision en temps réel font partie des technologies dont disposent les exploitants pour faire de l'agriculture de précision. Le bilan en eau des cultures et du sol peut également être déterminé par des méthodes de télédétection, qui incluent les technologies de télédétection aérienne, satellitaire et portable (Zerger *et al.*, 2010; Díaz *et al.*, 2011).

L'irrigation de précision permet une utilisation plus efficiente de l'eau en fournissant des informations sur la quantité exacte d'eau nécessaire pour une culture donnée, dans une zone donnée et à un moment donné. Cela peut avoir un impact significatif sur la consommation d'eau étant donné que l'efficience de l'irrigation se situe généralement dans la gamme de 30 à 50 % (Hillel et Vlek, 2005). En moyenne, les économies d'eau offertes par l'irrigation de précision sont de 10 à 15 % par rapport aux pratiques d'irrigation classiques et pourraient atteindre 50 %, selon l'efficacité du précédent régime de gestion de l'irrigation (Sadler *et al.*, 2005).

Connecter les consommateurs aux agriculteurs

Les TIC aident également à connecter les gens avec les agriculteurs de leur région, ce qui leur permet d'acheter des aliments directement. L'achat par les consommateurs d'aliments cultivés localement comporte des avantages environnementaux évidents, notamment une diminution des émissions de GES liées au transport. Il y a aussi d'importants avantages pour l'agriculteur et le consommateur, les petites exploitations étant en mesure de vendre leurs produits sans intermédiaire tout en donnant aux consommateurs accès à des aliments locaux plus frais.

Pratique prometteuse
Fermes Lufa, Montréal, QC

Les fermes Lufa est une entreprise de culture en serre située au centre-ville de Montréal, sur le toit d'un immeuble commercial. L'exploitation est bien plus qu'un jardin sur un toit, avec un peu moins de 3 000 mètres carrés en culture et une production quotidienne de plus de 450 kilogrammes de légumes (Immen, 2013). Elle cultive 40 types d'herbes et de légumes et le fait d'être située dans une serre lui permet de fonctionner toute l'année (Immen, 2013).

suite à la page suivante

Les fermes Lufa utilisent leur site Web pour communiquer avec les consommateurs; ceux-ci placent des commandes hebdomadaires qui sont par la suite livrées à l'un des nombreux points de collecte répartis à travers la ville (Les fermes Lufa, 2013). Les abonnés choisissent les légumes qu'ils recevront au cours d'une semaine donnée en indiquant quel jour ils aimeraient ramasser leur commande. Le site renferme également un blog de recettes, ainsi que des descriptions des pratiques écologiques employées (p. ex. la récolte de l'eau de pluie et l'utilisation de contrôles biologiques).

4.5.3 Défis

Comme pour les autres domaines thématiques, les coûts peuvent entraver l'adoption des possibilités liées aux TIC dans la fabrication et l'agriculture. Les entreprises peuvent ne pas avoir accès au capital requis pour faire les investissements nécessaires dans les nouvelles technologies, ou ne pas percevoir que d'importants investissements initiaux seraient utiles, malgré les retombées économiques éventuelles. En outre, il peut y avoir des défis de nature comportementale, étant donné que l'inclusion de nouvelles TIC dans les procédés de production peut, dans certains cas, nécessiter des changements fondamentaux chez les personnes et les entreprises engagées dans l'activité agricole ou industrielle.

4.5.4 Résumé

La production intelligente interconnectée, où les TIC sont mises à contribution pour améliorer l'efficience des processus manufacturiers et agricoles au niveau de la consommation d'énergie et d'eau, aurait un impact significatif sur la durabilité. D'autres avantages sur le plan de la durabilité pourraient être réalisés en utilisant les TIC pour aider à implanter la production à proximité des lieux où les biens manufacturés ou les aliments seront consommés.

4.6 DES GENS EN SANTÉ ET DES COLLECTIVITÉS DYNAMIQUES

Le comité d'experts a jugé qu'il était important de réexaminer toutes les possibilités évoquées ci-dessus dans une perspective sociale, parce que les avantages des possibilités liées aux TIC sur le plan social sont tout aussi importants que les avantages de nature économique et environnementale, même s'ils sont plus difficiles à quantifier. Les applications des TIC les plus efficaces sur le plan de la durabilité rencontreront le triple objectif ultime : contribuer à assurer la durabilité environnementale, sociale et économique du Canada. Le comité d'experts a choisi d'attirer brièvement l'attention sur certains des avantages positifs d'applications choisies des TIC pour la santé, l'éducation et la résilience des collectivités, qui sont les fondements de la santé des gens et des populations. Des collectivités dynamiques sont une composante essentielle de la durabilité, tout en collaborant activement à son avènement.

Un jour dans la vie

Dorsey, St. John's/Quinn, Regina

19h30 (HNT) / 17h00 (HNC)

Lors d'un clavardage vidéo avec une amie de l'Université Memorial, Quinn est impressionné par la rapidité avec laquelle le campus de l'établissement s'est remis des récentes inondations. Dorsey explique que la collecte et la modélisation des données climatiques de Terre-Neuve sont parmi les plus précises au monde. En outre, la croissance de la population a grandement amélioré l'efficience de la diffusion des avis sur les médias sociaux et l'organisation des services. Elle prend soin de souligner que les cours en ligne sur les premiers soins et sur le rétablissement après un sinistre, offerts par l'Université Memorial et diffusés sur la dernière itération du réseau CANARIE, sont populaires à travers tout le pays.

suite à la page suivante

Quinn est, bien entendu, particulièrement intéressé par le rétablissement rapide du réseau électrique. Dorsey explique que le réseau de l'Université Memorial est l'un de plusieurs au Canada à avoir été construit avec un réseau de capteurs à résolution beaucoup plus grande. Ce réseau est couplé avec un service de nuagique géré par le gouvernement fédéral qui permet aux systèmes en état de fonctionnement de tirer parti des ressources à travers le pays pour compenser la capacité réduite. Ces ressources sont ensuite utilisées pour faire un diagnostic du réseau et diffuser des informations et des instructions aux personnes se trouvant dans la zone touchée. Quinn est familier avec ce service. Chaque province y souscrit et la Colombie-Britannique maintient le ratio le plus élevé des ressources partagées aux ressources accessibles.

Les TIC ont ultimement une incidence positive sur la santé des gens et de leurs collectivités. Selon la définition de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), la santé est « un état de bien-être physique, mental et social complet, et non uniquement l'absence de maladie ou d'infirmité » et « le degré auquel une personne ou un groupe est en mesure, d'une part, de réaliser ses aspirations et de satisfaire à ses besoins et, d'autre part, de modifier l'environnement ou de composer avec celui-ci » [traduction] (OMS, 1946, 2009). La santé est un concept plus vaste que le simple bien-être physiologique et elle est influencée par un large éventail de déterminants qui vont de l'éducation et de l'accès aux soins de santé, aux réseaux de soutien social et à d'autres facteurs de nature politique, économique et environnementale. Bon nombre de ces déterminants ont également un lien avec la santé globale de la collectivité qui, à son tour, affecte la santé des personnes qui composent cette collectivité.

4.6.1 Déterminants de la santé des gens et du dynamisme des collectivités au Canada

Cette section se concentre sur la façon dont les TIC peuvent avoir un impact sur la santé des gens et le dynamisme de la collectivité en améliorant l'accès aux services de santé et en rendant les collectivités plus résilientes, plus engagées dans les processus décisionnels, mieux éduquées et mieux outillées pour faire face aux défis environnementaux et pour agir en vue d'y remédier. Le tableau 4.3 montre comment les possibilités présentées dans ce chapitre peuvent améliorer la qualité de vie des Canadiens, en plus des bienfaits au niveau de la santé qui découleraient d'une diminution de la pollution. L'examen des possibilités fait ressortir d'autres applications des TIC qui pourraient engendrer des avantages sur les plans de l'éducation, de la santé et de la résilience de la collectivité.

Tableau 4.3

Possibilités liées aux TIC favorisant des gens en santé et des collectivités dynamiques

Domaine thématique	Exemples d'avantages sociaux
Surveillance environnementale	• Meilleure sensibilisation de la collectivité au milieu environnant et aux problèmes environnementaux • Résilience aux catastrophes naturelles • Intégration des données environnementales avec d'autres données (p. ex. sur la santé)
Services publics intelligents interconnectés	• Capacité améliorée de l'utilisateur de passer de contributeur passif à participant actif et engagé • Résilience aux perturbations, aux attaques, aux catastrophes naturelles, etc.
Bâtiments et voisinages intelligents interconnectés	• Augmentation de la productivité • Augmentation du confort
Mobilité intelligente interconnectée	• Moins de congestion et donc moins de temps perdu dans le transport, ce qui signifie moins de stress
Production intelligente interconnectée	• Coûts de fabrication réduits • Accès aux aliments locaux • Production personnalisée

4.6.2 Possibilités

Accès aux connaissances

Il n'y a aucun doute que les TIC changent la façon dont les gens partout dans le monde communiquent et acquièrent de l'information. Le Canada a l'un des taux de pénétration d'Internet les plus élevés au monde, 8 Canadiens sur 10 étant branchés en ligne (ACEI, 2013). Le Canada vient aussi en tête dans le monde pour ce qui est du partage de fichiers et du nombre d'heures passées en ligne (45 heures par mois), les sites de réseautage social et de divertissement (p. ex. Facebook et YouTube) étant les plus populaires parmi les Canadiens (ACEI, 2013). Les plateformes de TIC tels que les sites de médias sociaux et les autres plateformes de réseautage ont donc le potentiel de fournir des solutions et de l'information susceptibles d'accroître la sensibilisation, l'éducation et l'engagement.

Un des principaux avantages des TIC est la facilité et la rapidité avec lesquelles l'information est diffusée, développée et stockée. Les TIC peuvent susciter une plus grande sensibilisation environnementale et communautaire en donnant accès à divers renseignements et données (provenant des gouvernements et des médias, par exemple), dans différents formats et en dépit de l'emplacement géographique, ainsi que la capacité de retracer, de faire des recoupements et de vérifier cette information. Globalement, une utilisation accrue des médias sociaux et un meilleur accès à l'information environnementale et sociale peuvent fournir aux collectivités et aux particuliers les outils nécessaires pour

mieux comprendre les enjeux ainsi que l'occasion de partager, de collaborer, d'établir des liens et d'agir. Malgré les avantages de l'accès aux données pour élaborer des solutions durables, certains ont soulevé des préoccupations au sujet des effets négatifs possibles sur la santé d'une quantité aussi énorme d'information (Shenk, 2009).

Combinées aux technologies de surveillance fondées sur des capteurs, les TIC peuvent améliorer la surveillance terrestre, atmosphérique et à distance et l'examen des changements environnementaux, en fournissant des renseignements et des outils qui aident à informer les gens sur l'état des choses et à repérer les aspects où une protection est requise (voir, par exemple, Ling *et al.*, 2007). Les TIC peuvent offrir de nombreux ensembles de données sur l'état du milieu environnant et de la collectivité, générer ou améliorer la modélisation et l'analyse des systèmes, souvent en temps réel, et éclairer la prise de décision touchant l'environnement et d'autres aspects de la vie.

Toutefois, pour que ces avantages sociaux positifs se concrétisent, des renseignements sur l'environnement doivent être disponibles et accessibles au grand public. Ainsi, selon le groupe European ICT Environmental Sustainability Research, le renforcement des capacités en matière d'environnement avec la participation du public est l'un des paramètres clés d'une intégration réussie des TIC aux questions environnementales. Cela comprend « l'amélioration des conditions environnementales par des efforts visant à accroître la sensibilisation du public sur les enjeux environnementaux et l'intégration d'un contenu axé sur l'environnement dans les programmes d'enseignement » (Pillman *et al.*, 2009). De façon similaire, de nombreuses initiatives fondées sur les TIC visant à renseigner les gens sur leur collectivité et les services mis à leur disposition ont vu le jour. Le gouvernement fédéral, les provinces et les municipalités, les organisations et les entreprises partout au Canada augmentent leur présence en ligne, ouvrant l'accès à leurs données et communiquant avec le grand public (voir, par exemple, Gouvernement de l'Ontario, 2013).

Un exemple d'engagement communautaire et de diffusion d'information par le biais des TIC vient de la ville de Vancouver, qui a été très active dans la promotion du Plan d'action 2020 pour la ville la plus verte dans les médias sociaux et sur les plateformes Web. La ville publie des rapports, des critères pour les projets et des mises à jour sur l'avancement de cette initiative; elle sollicite les commentaires et les idées du public; enfin, elle offre un savoir-faire, des conseils, des détails sur les événements, des possibilités de financement pour les projets d'écologisation communautaire et d'autres occasions de participation (Ville de Vancouver, 2013).

Les médias sociaux et les TIC peuvent aussi aider à coordonner et à intégrer les voix de la collectivité dans la planification des politiques en offrant des possibilités de participation accrue à travers des forums et des groupes sur Internet, qui peuvent toutes inciter les décideurs à mettre de l'avant des règlements et des processus plus durables (Ling *et al.*, 2007).

L'éducation

Les TIC peuvent offrir des possibilités de formation en environnement et en science. Celles-ci comprennent la scolarisation autonome et l'apprentissage hors de la salle de classe pour compléter les connaissances acquises dans un cadre formel, ainsi que l'amélioration des contextes d'apprentissage existants grâce à la visualisation, au multimédia et à des applications pratiques. Avec l'essor des technologies applicables aux téléphones intelligents et aux portables qui permettent de se connecter à Internet en tout temps, l'échange de connaissances, la collaboration et l'apprentissage par Internet sont de plus en plus courants. Grâce aux outils ouverts de formation, aux revues à accès libre et à l'accès aux livres et conférences sur support numérique et à de nombreux forums où l'on peut apprendre comment faire soi-même, les gens ont maintenant la possibilité d'apprendre ou d'étudier indépendamment de l'endroit où ils se trouvent, souvent gratuitement, pourvu qu'ils disposent d'une connexion Internet fiable. L'accroissement du contenu numérique en libre accès sous des licences de partage convivial, telles que Creative Commons, aide à constituer du contenu accessible, gratuit et de bonne qualité et suscite des projets innovateurs comme Wikipedia, la Public Library of Science, le Projet du génome humain, l'Open Energy Information Initiative et Science for Humanity. Les possibilités qui s'offrent de faire plus efficacement de la recherche et du développement technologique et l'importance des TIC pour l'éducation et la collaboration pourraient augmenter encore, alors qu'un nombre accru d'applications et une part croissante du commerce et de la vie sociale migrent vers les plateformes Internet (Bollier, 2007); certains ont toutefois fait valoir que les effets positifs de ces développements ont été exagérés (voir, par exemple, White, 2010; Morozov, 2011).

Si l'accès généralisé aux contenus éducatifs grâce aux TIC permet de réduire le besoin de se déplacer, cela aura un impact positif sur l'environnement. L'essor des cours offerts librement en ligne et la montée des publications à accès libre, du partage entre pairs et de nouveaux intermédiaires d'information pourraient s'inscrire dans une transformation en profondeur de la culture éducative dans le monde qui risque de changer la façon dont les connaissances sont acquises et partagées (Brousseau et Curien, 2007; Walsh, 2011). Certaines universités à accès libre, comme Coursera, offrent des cours en ligne ressemblant de très près à ceux offerts dans une salle de classe traditionnelle, tandis que d'autres,

comme Udacity, présentent des leçons interactives, des activités et des quiz entre les vidéos et les conférences. Selon l'Institut urbain du Canada (2008), les possibilités d'apprentissage en ligne « ouvrent la porte à de nouveaux outils de recherche et d'apprentissage liés à l'énergie et à l'environnement » [traduction] et devraient être intégrées aux stratégies d'engagement des collectivités au sens large.

Comme pour l'accès à l'information, l'éducation ouverte et la collaboration accrue peuvent sauver du temps et des ressources face aux défis croissants du développement durable et de l'environnement. Cependant, les conséquences sociales et économiques de ces changements de paradigmes pourraient se faire sentir encore plus loin (Zelenika et Pearce, 2013).

La santé

Le concept de cybersanté englobe une vaste gamme d'activités au sein d'un système de soins de santé où les TIC jouent un rôle central (Holmner *et al.*, 2012). Entre autres exemples, il y a les dossiers médicaux électroniques, la télémédecine, soit l'examen, le diagnostic ou la chirurgie à distance, et la cybersurveillance de la santé. En outre, les TIC peuvent aider à combiner des données sur la santé avec d'autres ensembles de données (p. ex. sur l'environnement) pour obtenir des informations supplémentaires (voir l'encadré 4.11). Les conséquences sociales, environnementales et économiques des applications des TIC dans le domaine de la santé sont bien documentées. Du côté positif du bilan, il y a les avantages directs et indirects découlant des besoins réduits de déplacement (Merrell, 2009). Par ailleurs il a été estimé que les gains d'efficience attribuables à la technologie de l'information en santé pourraient engendrer globalement des économies financières de plus de 77 milliards de $US par an aux États-Unis (Rand Corporation, 2005). Les procédures de télémédecine et d'autoexamen peuvent réduire considérablement la nécessité d'une visite en personne, laquelle peut s'avérer peu pratique, prendre du temps et être douloureuse et coûteuse, surtout pour les personnes très malades, les personnes âgées ou celles qui vivent en région rurale (Rintels 2008). En outre, les applications de la télémédecine peuvent faciliter le traitement des maladies chroniques comme le diabète, l'insuffisance cardiaque, l'hypertension et la dépression et ainsi prévenir le besoin de recourir à des soins de longue durée en établissement (Darkins *et al.*, 2008).

Les dossiers électroniques des patients et de la médication, les ordonnances électroniques et les systèmes d'aide à la prise de décision pourraient être des éléments clés de la modernisation et de la mise à niveau du système de santé (Prada et Santaguida, 2007; Conference Board du Canada, 2013a; Département américain de la Santé et des Services à la personne, s.d.). Les gouvernements au

Pratique prometteuse
La cybersanté en Croatie

En mettant en place le système de cybersanté d'Ericsson, la Croatie a relié 2 400 équipes de soins de santé primaires au sein d'un même système. Le système met à jour les dossiers des patients, produit des rapports électroniques sur les patients et traite les admissions et fait des copies numériques des ordonnances et des renvois en consultation, lesquels peuvent être transmis à d'autres centres de soins de santé (comme les pharmacies) sans qu'il soit nécessaire de les imprimer (Ericsson, 2009). Ericsson estime que les services électroniques de renvoi en consultation peuvent, à eux seuls, réduire le nombre de visites de patients de 50 % en Croatie. La société estime en outre que les services électroniques de renvoi en consultation et d'ordonnance ont le potentiel de réduire les émissions de CO_2 dans une mesure allant jusqu'à 15 000 tonnes par an, tout en n'ajoutant que 330 tonnes par an pour leur fabrication et leur fonctionnement (Ericsson, 2009).

Canada ont pris des engagements importants pour des applications de cybersanté : ainsi, le gouvernement fédéral a annoncé une contribution de 2,1 milliards de dollars à l'Inforoute santé du Canada pour l'élaboration de dossiers de santé électroniques et de technologies de cybersanté (Canada Newswire, 2013). Bien que le Canada ait fait des progrès vers l'interopérabilité, la normalisation et le partage de l'information entre les cliniciens et les instances administratives, il y a encore des éléments à améliorer. À titre d'exemple, le Canada accuse un sérieux retard sur de nombreux pays de l'OCDE dans la mise en place des dossiers médicaux électroniques en pratique familiale (Anderson *et al.* 2006; Protti, 2007; Prism Economics and Analysis, 2009).

En plus d'améliorer le volet technique des systèmes d'information liés à la cybersanté, il importe d'insister sur l'extension et le renforcement des compétences en informatique des professionnels de la santé (Prism Economics and Analysis, 2009) et la nécessité de susciter une meilleure compréhension des besoins des gens et de l'assurance de la qualité. Bien que les améliorations axées sur la cybersanté apportent de nombreux avantages, des préoccupations sont exprimées au sujet de l'augmentation de la consommation d'énergie et des déchets électroniques résultant de certaines activités de santé liées aux TIC. L'impact environnemental de ces technologies doit faire l'objet d'un suivi et être réduit au minimum dans tous les cas où cela est possible (Kolbasuk McGee, 2011). La protection de la vie privée et la sécurité des dossiers médicaux des patients et d'autres renseignements confidentiels constituent un autre défi à relever (Prism Economics and Analysis, 2009), en accordant une attention

particulière à la protection de la confidentialité de la relation médecin-patient et à la protection contre les cyberattaques ou d'autres formes d'accès illégal aux dossiers.

Encadré 4.11
Intégration des données sur l'environnement avec des données sur la santé

Un rapport de Santé Canada, intitulé *Strengthening Environmental and Occupational Health Surveillance in Canada*, est arrivé à la conclusion qu'il faudrait renforcer la surveillance de l'hygiène du milieu et de la santé au travail au Canada (Santé Canada, 2001, cité dans Santé Canada, 2004). D'autres travaux ont mis en évidence les avantages d'une intégration des données sur la surveillance de l'environnement et de la santé afin de mieux comprendre les liens entre les risques environnementaux et la santé humaine (Santé Canada, 2004). Cette intégration offrirait la possibilité de tirer parti des données provenant des activités de surveillance de l'environnement et du système de santé. Cependant, pour parvenir à cette intégration, il faudra surmonter de sérieux obstacles liés à la sécurité, à la protection des renseignements personnels, ainsi qu'à l'interopérabilité et à l'accessibilité des données (Ali *et al.*, 2007).

Des collectivités résilientes et intégrées

La résilience peut se définir comme étant « la capacité des personnes, des ménages, des collectivités, des pays et des systèmes d'atténuer les chocs et les contraintes, de s'y adapter et de s'en remettre d'une manière qui réduit la vulnérabilité chronique et favorise une croissance inclusive » [traduction] (USAID, 2012). L'approche axée sur la résilience des collectivités privilégie la proactivité, par opposition à la réactivité, qui repose sur de robustes réseaux sociaux et l'utilisation du capital social (Murphy, 2007; Resilient Communities Canada, s.d.). Le déploiement efficace des TIC à l'appui de la résilience collective peut renforcer la capacité d'adaptation dans un monde où les effets prévus de la déstabilisation du climat et de la hausse des prix de l'énergie devraient s'accentuer.

Certains des paramètres qui s'appliquent aux collectivités résilientes et intégrées ont été mentionnés précédemment dans ce chapitre. Il s'agit notamment de l'accès à l'information, la participation du public, l'éducation et la santé. Les avantages des TIC dans l'optique de la résilience peuvent inclure une combinaison de capacités techniques ainsi que les dimensions sociales de la

connaissance et le partage des ressources, une meilleure compréhension des systèmes environnementaux et terrestres, le soutien, l'aide, le renforcement des capacités et les secours en cas de catastrophe. Compte tenu de la vaste étendue géographique du Canada, l'interconnectivité au moyen des TIC peut jouer un rôle important en rapprochant les collectivités en cas de besoin, notamment dans les régions rurales isolées. Toutefois, pour exploiter pleinement les possibilités offertes par les TIC au profit de la résilience des collectivités, il sera important de s'attaquer aux problèmes liés au fossé numérique (tels que l'accès et le coût), d'accroître la sensibilisation, de soutenir l'infrastructure (des technologies dures et douces), de promouvoir la participation, et de favoriser une approche à multiples niveaux en matière d'organisation, de gouvernance et de soutien (Simpson, 2005). Un mémoire de politique de l'Université de Westminster décrit un certain nombre de facteurs clés pour le succès des initiatives communautaires durables (« initiatives éco-ville »), dont :

- l'intégration des échelles, des systèmes et des organisations en vue d'une innovation efficace;
- l'engagement communautaire adapté à un large éventail de la vie publique, en mettant l'accent sur la transparence et la participation;
- des objectifs environnementaux-technologiques en harmonie avec la durabilité sociale;
- l'accessibilité et la comparabilité des données aux fins de la recherche, de l'échange des connaissances et de l'apprentissage partagé.

(Joss, 2013)

La gestion des catastrophes est un exemple de domaine où les TIC peuvent accroître la résilience. Selon une estimation de la Banque mondiale, les catastrophes météorologiques sont responsables d'environ 75 % des pertes dues à des événements naturels défavorables dans le monde. Entre 1980 et 2011, les catastrophes naturelles ont causé plus de 2,5 millions de décès et des dommages évalués à environ 3 500 milliards de $US à travers le monde (Banque mondiale, 2013a). Dans l'avenir, le changement climatique continuera vraisemblablement d'avoir des conséquences sur les écosystèmes mondiaux, l'agriculture, l'approvisionnement en eau, l'élévation du niveau de la mer et les tempêtes violentes. Par conséquent, « des stratégies efficaces d'adaptation au risque climatique [pourraient] aider à gérer les risques de catastrophe à moyen terme tout en réduisant la vulnérabilité à plus long terme » [traduction] (Banque mondiale, 2013a). La puissance des TIC aux fins de la gestion des risques de catastrophe a été largement reconnue, et de nombreuses possibilités axées sur la prévision et la gestion des catastrophes pourraient contribuer à améliorer la sensibilisation, l'éducation, la formation et la préparation (Banque mondiale, 2013b).

Les applications permettant de faire des prévisions météorologiques en temps utile, des exigences en matière de zonage et développement mieux éclairées et appliquées plus rigoureusement, et la préparation du public sont essentielles à la sécurité et à la résilience des collectivités au Canada. Tel que mentionné, des scientifiques ont indiqué qu'en plus des données sur les précipitations, les données disponibles sur les eaux souterraines provenant des satellites de la NASA auraient pu être utilisées pour prédire les inondations à grande échelle qui ont frappé l'Alberta en 2013, ce qui aurait donné aux gouvernements plus de temps pour se préparer à la catastrophe (Semeniuk 2013). La puissance des technologies de communication numériques et de l'externalisation ouverte est ressortie très clairement lorsque la ville de Calgary a lutté contre inondations (Montgomery, 2013). Les résidents ont utilisé Twitter et Facebook pour partager des renseignements sur les entreprises ou les personnes qui offraient gratuitement de l'aide et des ressources, des pompes, des aspirateurs d'eau, des matériaux de construction et des sites de recyclage. Les vidéos partagées et l'actualité transmise 24 heures sur 24 à partir des voisinages à l'aide de YouTube et de Vimeo ont aussi aidé à renseigner de nombreuses personnes, les équipes de travail et les médias d'information (Montgomery, 2013).

À la lumière de cet exemple, il est pertinent de noter que la durabilité amenée par les TIC, outre les moyens techniques qui peuvent en découler, peut faciliter des changements dans la gouvernance, la gestion et la prise de décision traditionnelles. Un volet important est l'abandon progressif du modèle de certitude fondé sur le contrôle et un style de gestion *prévoir-et-fournir*, qui a tendance à voir les technologies comme des solutions miracles, en faveur d'autres approches qui considèrent les problèmes sociaux, politiques et environnementaux comme intrinsèquement complexes et imprévisibles (Meadows, 2008). Cette évolution requiert des modes d'analyse et de gouvernance fondés sur des approches privilégiant l'adaptation à des conditions futures différentes, débouchant sur un modèle plus décentralisé, mais interconnecté, de collectivités résilientes, où les TIC sont les outils permettant de développer une gestion résiliente, proactive et adaptative (Allenby et Sarewitz, 2011). Incorporée dans cette approche est la notion plus récente du développement durable en tant que bien émergent créé collectivement, comme il ressort de plus en plus clairement de l'explosion d'initiatives citoyennes et communautaires (Robinson, 2004; Robinson *et al.*, 2011; Roseland, 2012). Tous ces facteurs pourraient mener à une meilleure compréhension des systèmes terrestres et à une approche mieux intégrée du développement durable et des rapports interconnectés entre les humains, la nature et la technologie. Ajouter simplement plus de technologies ne nous permettra pas d'y arriver. De meilleures stratégies et de meilleurs systèmes d'inclusion sociale et de gouvernance doivent être développés, de même que des méthodes pour profiter de la richesse et de la diversité des systèmes qui produiront la résilience et l'adaptabilité.

4.6.3 Défis

Les défis qui entravent l'adoption des possibilités qui concourraient à des gens en santé et à des collectivités dynamiques sont similaires à ceux examinés pour les autres domaines thématiques. Entre autres, les défis de nature comportementale sont importants pour les applications des TIC visant les particuliers, comme celles portant sur l'éducation ou l'accès aux soins de santé. Si les gens ne sont pas à l'aise avec des applications particulières des TIC, ils peuvent décider de ne pas les utiliser. De même, un manque de compétences liées aux TIC peut constituer un défi dans certains cas, empêchant les gens d'exploiter avec succès une possibilité issue des TIC. Les questions relatives à la protection de la vie privée et à la sécurité ont aussi une importance particulière pour les possibilités axées sur la santé parce que la protection de l'intégrité des données des patients est essentielle.

4.6.4 Résumé

La santé est un concept de vaste portée qui est influencé par tout un éventail de déterminants allant de l'éducation aux réseaux de soutien social. En effet, des gens en santé et des collectivités dynamiques font partie intégrante du développement durable et en sont les co-auteurs. Les TIC ont en définitive le potentiel d'influer positivement sur la santé et la résilience des gens et de leurs collectivités. En termes de démographie et de participation au processus démocratique, les TIC peuvent ouvrir la porte à de nouvelles formes de prise de décision et de gouvernance participative. Les TIC peuvent aussi contribuer directement à la qualité de vie grâce à un meilleur accès aux services de santé et d'éducation disponibles.

4.7 CONCLUSION

Il existe un nombre presqu'infini d'applications basées sur la plateforme des TIC introduite au chapitre 3 qui pourrait engendrer des avantages de nature environnementale et socio-économique. Identifier les possibilités qui seraient les plus bénéfiques pour le Canada requiert de tenir compte des facteurs contextuels examinés au chapitre 2 et de de définir les avantages souhaités sur les plans de l'environnement, de l'économie et du bien-être social. Le comité d'experts a examiné les possibilités liées aux TIC dans six domaines thématiques clés ayant d'importants effets positifs, réels ou potentiels, dans la vie quotidienne des Canadiens.

Les possibilités énumérées dans ce chapitre comportent un large éventail d'avantages potentiels dans l'optique de la durabilité. Ils recouvrent également de nombreux secteurs et groupes cibles différents. Compte tenu de la variété des possibilités pertinentes à la durabilité, le comité d'experts a aussi articulé des

défis communs qui constituent des obstacles à la mise en œuvre et à l'adoption réussies des applications des TIC pour assurer la durabilité au Canada, lesquels peuvent cependant être atténués grâce à une bonne planification et à des mesures appropriées :

- les coûts réels ou appréhendés de la mise en œuvre de la technologie et de l'infrastructure correspondante;
- le manque d'accessibilité et d'interopérabilité des données;
- le manque de compétences requises dans les TIC;
- les questions relatives à la protection de la vie privée et à la sécurité et les facteurs comportementaux;
- les effets de second ordre.

Bien que les lacunes dans la connectivité à large bande au Canada n'aient pas été retenues comme un défi dans l'un des domaines thématiques examinés, le comité d'experts reconnaît que l'accès rapide et fiable au service Internet à haut débit est essentiel pour exploiter toutes les possibilités mises de l'avant. Par conséquent, le comité voudrait l'ajouter comme sixième défi.

Dans le prochain chapitre, le comité d'experts explore les six défis plus en détail et examine certaines des solutions qui pourraient aider à relever ces défis de manière à exploiter plus pleinement les avantages offerts par les possibilités issues des TIC.

5

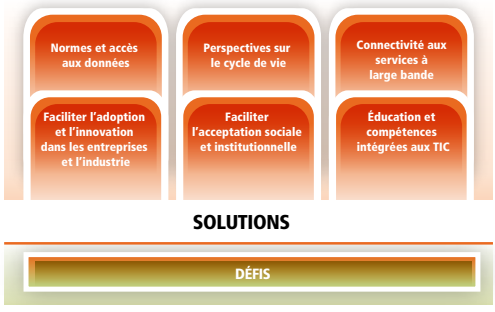
Relever les défis

- Faciliter l'adoption et l'innovation dans les entreprises et l'industrie
- Normes et accès aux données
- Enseignement et compétences intégrés aux TIC
- Faciliter l'acceptation sociale et institutionnelle
- Perspectives sur le cycle de vie
- Connectivité au service à large bande
- Conclusion : Une approche intégrée des solutions

5 Relever les défis

Principales constatations

- Les laboratoires vivants pourraient aider à réduire le risque et l'incertitude associés à l'utilisation de solutions à haut risque ou non éprouvées.
- Faciliter l'adoption des TIC par les entreprises pourrait nécessiter le recours à des instruments de politique comme les achats publics afin d'accroître la demande et de corriger les déficiences du marché.
- Il importe d'encourager la collaboration en s'assurant que les données sont accessibles. L'ouverture des données est une première étape, mais des normes sont également nécessaires pour assurer l'interopérabilité et permettre à tous les utilisateurs de lire, de comprendre et d'utiliser les ensembles de données.
- Promouvoir la littéracie numérique et informatique et faire de l'acquisition de compétences cognitives et techniques dans les TIC une priorité en éducation, à la fois pour les citoyens et les professionnels des TIC, engendreraient des avantages sociaux et donneraient au Canada un avantage concurrentiel dans un monde numérique en évolution rapide.
- La mise en œuvre de pratiques telles que la protection intégrée de la vie privée pourrait protéger la vie privée et donner aux utilisateurs un contrôle personnel sur les renseignements, tout en positionnant le Canada pour qu'il puisse récolter les avantages socioéconomiques des mégadonnées et des technologies intelligentes.
- L'adoption d'une perspective axée sur le cycle de vie pourrait aider à reconnaître et à atténuer les effets de second ordre pouvant découler de la mise en œuvre des possibilités offertes par les TIC.
- Combler les écarts dans la connectivité à large bande pourrait nécessiter un engagement national, mais donnerait au Canada les capacités requises pour demeurer concurrentiel dans l'économie mondiale.



Un éventail de possibilités liées à l'application des TIC pour atteindre la durabilité au Canada a été présenté au chapitre 4, accompagné d'une brève discussion des six défis les plus importants que pose la réalisation de ces possibilités. Le présent chapitre explore

ces défis plus en détail et énumère certaines solutions pour chacun. Le comité d'experts ne considère pas que ces solutions soient complètes ou normatives. Plutôt, il présente une gamme d'options venant du Canada et d'ailleurs dans le monde susceptibles de faciliter l'adoption de technologies durables reposant sur les TIC. Pour simplifier l'analyse, le comité d'experts a classé les options en six grandes catégories :

- Faciliter l'adoption et l'innovation dans les entreprises et l'industrie
- Normes et accès aux données
- Enseignement et compétences intégrés aux TIC
- Faciliter l'acceptation sociale et institutionnelle
- Perspectives sur le cycle de vie
- Connectivité au service à large bande

Enfin, le comité d'experts examine la nécessité d'une approche intégrée pour relever les défis de la durabilité par le biais des TIC – une approche qui continuera à promouvoir les trois piliers de la durabilité.

5.1 FACILITER L'ADOPTION ET L'INNOVATION DANS LES ENTREPRISES ET L'INDUSTRIE

L'économie mondiale a largement bénéficié des TIC au cours des dernières décennies (Draca *et al.*, 2006). L'invention de technologies telles que le matériel informatique et de communication a donné une impulsion initiale à la performance des entreprises. Ainsi, et ce qui est peut-être plus important, les gestionnaires et les employés ont appris comment réorganiser les processus d'affaires afin d'améliorer et de transformer les opérations, haussant considérablement la productivité.

Les possibilités qu'offrent les TIC en vue de promouvoir la durabilité pourraient avoir des effets tout aussi puissants, non seulement pour améliorer encore le rendement des entreprises, mais aussi pour atténuer l'impact environnemental des entreprises et des ménages (Popp, 2012). Ces effets auront une importance critique parce que, de plus en plus, la croissance économique future devra se faire avec un impact environnemental limité. Cependant, cela ne peut se réaliser que si un certain nombre d'obstacles sont surmontés. En bref, le rythme de développement et d'adoption de nouvelles technologies est généralement trop lent, et l'incitation à améliorer l'environnement est trop faible (Hall *et al.*, 2010).

5.1.1 Explorer les défis

Le comité d'experts a observé que les coûts, réels ou appréhendés, de la mise en œuvre des nouvelles technologies constituaient un défi majeur pour le développement et la réalisation des possibilités liées aux TIC. Ce défi est particulièrement pertinent dans le contexte des entreprises. L'obtention du

financement approprié est évidemment essentielle pour les entreprises, mais d'autres défis se posent, comme les faibles taux d'adoption, l'insuffisance des incitations à la création de technologies durables, la dépendance par rapport au cheminement passé et la piètre performance historique du Canada en matière d'innovation.

Étant donné que de lourdes pénalités financières ne sont pas imposées aux entreprises pour leur impact négatif sur l'environnement en l'absence de réactions importantes de la part des consommateurs et des gouvernements, des dommages excessifs sont causés au milieu naturel. Ainsi, dans bien des cas, les entreprises ne paient pas pour la pollution qu'elles produisent. C'est là un exemple de ce que les économistes appellent une *déficience du marché*, c'est-à-dire lorsque la répartition des biens et services n'est pas efficiente sur le marché libre. Pour corriger cette déficience du marché, les gouvernements peuvent recourir à toute une gamme d'instruments de politique tels que la réglementation et l'imposition de frais pour aider à prévenir les dommages environnementaux. Incidemment, les autorités municipales, provinciales et fédérales au Canada ont depuis longtemps appliqué des politiques pour protéger l'environnement. Même si les politiques gouvernementales peuvent contribuer à stimuler la demande, l'adoption de TIC durables dans les entreprises, comme pour les autres technologies, peut se révéler insuffisante en raison d'autres déficiences du marché et des défis abordés dans le présent chapitre.

Les déficiences du marché liées à l'adoption de nouvelles technologies telles que les TIC sont nombreuses (Stoneman et Diederen, 1994; Popp, 2010). Les premiers à adopter une technologie peuvent devoir composer avec des déficiences en début de production, avec la difficulté de trouver la meilleure façon d'optimiser la nouvelle technologie et un coût initial élevé avant que les économies d'échelle ne puissent être exploitées. Les adopteurs précoces qui parviennent à surmonter ces problèmes peuvent être en mesure de partager de précieux renseignements sur la meilleure utilisation des nouvelles technologies. Cependant, il n'y a pas de rétribution à créer un tel bien public parce que les adopteurs tardifs peuvent profiter gratuitement de l'apprentissage issu de ces erreurs initiales. Cette réticence à explorer de nouvelles technologies signifie que leur adoption sera plus lente, et pourrait même ne pas démarrer si ces obstacles sont trop grands. Il ne s'agit pas de problèmes abstraits, mais de défis bien concrets. Ceux qui vendent de nouvelles technologies doivent réussir à convaincre les clients de la performance du produit. Mais, cet obstacle peut se transposer en difficulté d'obtenir du financement. L'incapacité d'obtenir du financement est donc le symptôme d'un problème plus profond auquel il faut s'attaquer directement.

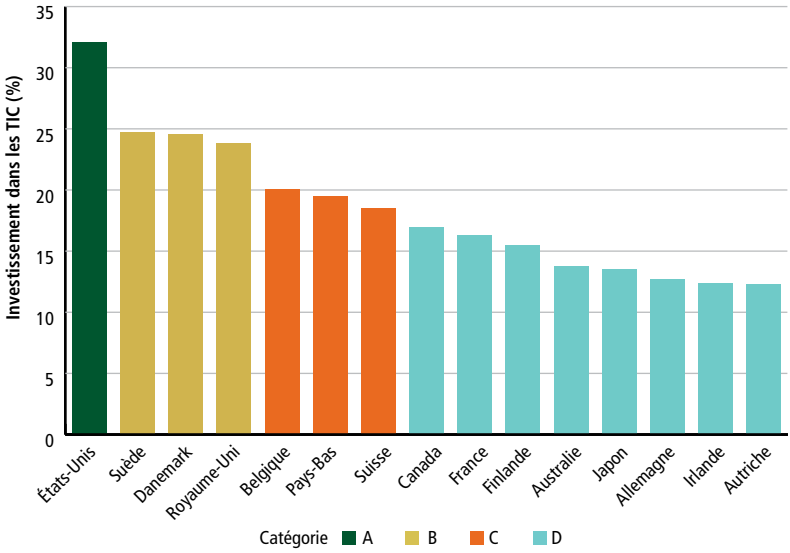
Avec ces forces à l'œuvre, non seulement les possibilités liées aux TIC à l'appui de la durabilité sont entravées par une demande insuffisante pour le produit final si la réglementation des effets sur l'environnement est inadéquate, mais il y aura une incitation insuffisante à adopter de nouvelles technologies ou même à en développer. Toute déficience dans cette chaîne conduira à une adoption incomplète des possibilités liées aux TIC et annulera toute incitation à les développer. Étant donné que les données montrent que l'économie canadienne n'est pas aussi productive et novatrice qu'elle devrait l'être (CAC, 2009, 2013a), encourager l'adoption de nouvelles possibilités liées aux TIC posera vraisemblablement un défi manifeste.

Bien que, dans de nombreux cas, une intervention gouvernementale bien ciblée soit nécessaire, des obstacles à un plus grand investissement dans les TIC durables peuvent aussi provenir de pratiques commerciales qui sont plus difficiles à influencer (de T'Serclaes et Jollands, 2007; Gillingham *et al.*, 2009). Certaines de ces pratiques peuvent exister en raison des défis décrits ci-dessus ayant trait à une information insuffisance sur les nouveaux produits. Une information insuffisante peut compliquer l'obtention d'un financement parce qu'un bailleur de fonds peut hésiter à consentir un prêt pour un projet risqué. Le risque perçu peut mener des entreprises à évaluer des projets en utilisant un taux de rendement minimal élevé, de sorte que seuls les projets ayant des retombées immédiates seront adoptés. Les projets qui comportent des coûts initiaux élevés peuvent nécessiter un examen plus approfondi à des niveaux plus élevés de la gestion.

Des problèmes de plus vaste portée peuvent également se poser lorsque les entreprises sont en interaction les unes avec les autres. Certaines entreprises peuvent développer leurs propres types de technologies, qui sont ensuite incompatibles avec celles mises au point par d'autres entreprises. Une dépendance à l'égard des décisions passées peut se créer lorsque des technologies ou des normes particulières sont adoptées et qu'il devient par la suite très difficile d'implanter des technologies et des pratiques nouvelles. Le défaut d'adopter des normes communes pourrait empêcher une diminution des coûts en entravant la réalisation d'économies d'échelle. Les propriétaires d'immeubles n'ont aucune incitation à investir dans des installations d'énergie et de chauffage efficientes si les coûts sont assumés par les locataires.

Du côté des entreprises, il est évident que le Canada n'investit pas assez dans les TIC en comparaison d'autres pays industrialisés (Sharpe et Andrews, 2012; Conference Board du Canada, 2013c). Le Canada se classe dans la moitié inférieure (8e sur 15 pays similaires) pour les investissements dans les TIC en pourcentage de la formation brute de capital fixe non résidentiel, et il a obtenu la cote D dans le rapport du Conference Board du Canada sur les investissements dans

les TIC (Conference Board du Canada, 2013c) (voir la figure 5.1). Ce rapport notait également que l'investissement du Canada dans les TIC était inférieur à la moyenne des 15 pays. Les classements mesuraient les investissements collectifs dans le matériel de communication, le matériel informatique et les logiciels. Dans ces catégories, le Canada se classait sixième, huitième et neuvième respectivement, arrivant dans tous les cas sous la moyenne des 15 pays.



Reproduit avec la permission du Conference Board du Canada, 2013c

Figure 5.1

Investissements dans les TIC de 15 pays semblables

Le Conference Board du Canada a produit un classement de 15 pays semblables pour ce qui est des investissements dans les TIC en pourcentage de la formation brute de capital fixe non résidentiel. L'investissement dans les TIC comporte trois composantes : les logiciels, le matériel de TI et le matériel de communication.

5.1.2 Pistes de solutions

> *« L'échec est tout simplement une opportunité de commencer à nouveau, cette fois de façon plus intelligente. »* [Traduction]
>
> – Henry Ford

La mise en place d'une nouvelle technologie ou d'une application des TIC est une tâche complexe, et les coûts réels ou appréhendés peuvent poser un défi. À titre d'exemple, une nouvelle application des TIC peut imposer des coûts

initiaux élevés, avoir une demande insuffisante ou offrir peu d'incitation à être adoptée. Bien qu'il existe de nombreuses approches pour relever ces défis, le comité d'experts a choisi de se concentrer sur deux solutions : i) les laboratoires vivants; ii) le déploiement à l'échelle des TIC. Ces activités contribuent à atténuer les risques associés à l'entrée sur le marché d'un nouveau produit, en plus de favoriser un marché concurrentiel pour les produits et services des TIC.

Laboratoires vivants

Les laboratoires vivants sont des répliques expérimentales du monde réel, où les utilisateurs et les producteurs créent et valident conjointement des innovations. Les gens sont au centre du processus d'innovation dans ces environnements dynamiques, ce qui fait que les processus sont « dominés par des humains » plutôt que « dominés par la technologie » [traduction] (Molinari, 2012). La capacité d'intégrer les clients au processus d'innovation se révèle être un atout majeur dans l'environnement des affaires d'aujourd'hui (Edvardsson *et al.*, 2010). Grâce à ces processus de co-création d'innovations, les entreprises peuvent répondre plus efficacement aux besoins des consommateurs, atténuer les risques associés à l'entrée de nouveaux produits sur le marché et réduire les délais de commercialisation (Niitamo *et al.*, 2012).

Pratique prometteuse

Forschungszentrum Informatik (FZI) House of Living Labs, Centre de recherche en technologie de l'information FZI, Institut de technologie de Karlsruhe

Le House of Living Labs de FZI est une institut de recherche qui appuie les petites et moyennes entreprises en offrant une plateforme pour le développement, l'intégration et la mise à l'essai de nouvelles applications en préparation de leur lancement et de leur commercialisation. L'environnement de recherche de l'institut donne accès à des équipements modernes tels que des TIC mobiles ou fixes et des technologies du bâtiment. Les entreprises participantes peuvent également compter sur le soutien de plus de 150 chercheurs spécialisés en informatique, en génie électrique ou mécanique, et en économique. L'institut abrite des laboratoires vivants spécialisés dans l'énergie intelligente, l'habitation, la mobilité, l'automatisation, l'informatique mobile, et la robotique des services (FZI, 2014).

Les universités peuvent servir de laboratoires vivants parce qu'elles constituent des plateformes d'innovation ouvertes pouvant tolérer un niveau de risque beaucoup plus élevé que les entreprises individuelles. En assumant ce rôle, les

universités transforment leurs équipements en bancs d'essai où l'établissement et ses partenaires des secteurs privé, public et sans but lucratif « mettent à l'essai, étudient, apprennent, appliquent et partagent les leçons apprises, les technologies créées et les politiques élaborées » (Robinson *et al.*, 2013a). Les universités ont non seulement une responsabilité, mais une importante occasion théorique et opérationnelle de mettre en pratique la durabilité, de faire de la recherche sur les enjeux techniques, économiques, sociaux et institutionnels et de former des étudiants.

Pratique prometteuse
Le Centre for Interactive Research on Sustainability

Le Centre for Interactive Research on Sustainability (CIRS) de l'Université de la Colombie-Britannique (UBC), complété en 2011, est conçu pour apporter des avantages positifs nets à son environnement et ses occupants. À la fois un projet de démonstration et une infrastructure de recherche, le CIRS fournit des données et un soutien à des projets de recherche courants sur la performance des bâtiments durables, et facilite l'interaction entre le bâtiment, ses sous-systèmes et ses occupants.

Les TIC jouent un rôle clé dans la recherche, la conception des bâtiments et les opérations au CIRS. En voici quelques exemples :

- un système de détection, de surveillance et de contrôle comportant 3 000 points intégrés dans une plateforme commune de technologie de la construction;
- un programme de modélisation des données pour la conception des bâtiments, la modélisation de l'énergie et la production de plans de construction;
- des murs vidéo dans le hall d'entrée affichant en temps réel des données sur la performance du bâtiment et de l'information sur les systèmes.

La performance du CIRS sur les plans environnemental et humain donne lieu actuellement à beaucoup de recherches de la part d'une équipe d'étudiants diplômés, de boursiers postdoctoraux et de professeurs, à laquelle participent des partenaires du secteur privé. Les indications préliminaires incitent à penser que les objectifs de performance environnementale ne sont pas encore atteints, mais des stratégies pour y parvenir sont en voie d'élaboration. Les leçons apprises du CIRS ont déjà commencé à influencer la prise de décision touchant le développement d'autres bâtiments et infrastructures à UBC.

(Robinson *et al.*, 2013b)

Les universités ne sont pas les seuls exemples de laboratoires vivants; l'innovation peut être pertinente à un grand nombre d'enjeux résultant de l'engagement d'un large éventail de participants, dont l'industrie, les gouvernements ou des collectifs. Cela est illustré par les différents projets ayant reçu un Living Labs Global Award. Créés en 2009, ces prix ont depuis rassemblé des solutions provenant de plus de 1 500 fournisseurs pour relever des défis stratégiques dans 42 villes à travers le monde (LLGA, 2013). Les fournisseurs œuvrant dans des entreprises, des centres de recherche ou des organismes à but non lucratif sont invités à présenter des innovations technologiques prêtes à être déployées.

Stratégie de déploiement des TIC

De nombreuses approches existantes peuvent encourager le déploiement à grande échelle de la technologie, en la faisant passer d'une application à petite échelle par un nombre limité d'utilisateurs à la mise en place et l'application à une échelle beaucoup plus grande. La création par les gouvernements d'une demande pour les produits des TIC offrant des avantages environnementaux représenterait une telle stratégie (ACTI, 2009). Les ministères du gouvernement du Canada sont des chefs de file dans l'utilisation des TIC. Le gouvernement fédéral consacre quelque 2,5 milliards de dollars par an à des achats de biens et services liés aux TIC (Gouvernement du Canada, 2010). Cela signifie que, par ses politiques d'approvisionnement et ses décisions d'achat, le gouvernement est en mesure d'encourager ou même de créer un marché national pour des produits et services de TIC spécifiques (IIDD, 2011). Par le truchement de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, le gouvernement applique une politique d'achats verts dans le but de s'assurer que les marchés des biens, des services et de la construction intègrent des considérations environnementales, élargissant ainsi le marché des biens et services respectueux de l'environnement (Gouvernement du Canada, 2014b). En outre, le gouvernement fédéral achète des innovations au stade précommercial auprès d'entreprises canadiennes dans le cadre de son Programme d'innovation Construire au Canada. Ce programme contribue à combler le fossé à l'étape de la précommercialisation, à soutenir des entreprises canadiennes et à stimuler le marché pour les nouvelles innovations (Gouvernement du Canada, 2014a).

Pratique prometteuse

Stratégie de la Commission européenne pour les technologies clés génériques

En 2011, la Commission européenne a adopté une stratégie pour promouvoir le développement et le déploiement commercial de technologies génériques clés. Les deux objectifs de la stratégie sont de stimuler le développement économique et de relever les défis de la société. Celle-ci a été considérablement influencée par les conclusions du Groupe d'experts de haut niveau sur les technologies clés génériques (Commission européenne, 2011). Le Groupe d'experts a reconnu les difficultés que l'Europe a éprouvées en cherchant à transformer des connaissances en produits commercialisés, et il a esquissé une approche s'appuyant sur trois piliers en vue d'aider les entreprises de TIC à traverser la « vallée de la mort » qui menace leurs produits et services. L'approche vise à atténuer le risque que des possibilités technologiques viables ne soient pas déployées à l'échelle et à fournir un soutien tout au long de la chaîne d'innovation :

- Le premier pilier met l'accent sur la promotion de la recherche technologique;
- Le deuxième pilier cible le développement de produits, y compris la fourniture d'installations à l'échelle du projet pilote et du prototype;
- Le troisième pilier vise à offrir un environnement propice à la fabrication concurrentielle à l'échelle mondiale.

(Commission européenne, 2011)

Alors que la stratégie met l'accent sur la production et le déploiement de technologies habilitantes clés, le cadre proposé pourrait aussi s'appliquer aux technologies durables liées aux TIC. Le comité d'experts fait valoir que le Canada pourrait saisir l'occasion d'adopter une stratégie de ce genre et devenir l'un des premiers pays à passer à l'action pour promouvoir l'adoption et la diffusion de possibilités offertes par les TIC durables.

Pratique prometteuse

TDDC et MaRS appuient le développement, la démonstration et l'adoption de technologies

TDDC (Technologie du développement durable Canada) assume le rôle de passerelle entre la recherche et la commercialisation à l'étape où du financement est requis pour prouver qu'une nouvelle technologie durable fonctionne effectivement. Cette initiative intervient en appuyant le développement et la démonstration de technologies propres en vue de leur commercialisation. Dans le cadre de ses fonds spécialisés, le Fonds de technologies du DD et le Fonds de biocarburants ProGen, TDDC a approuvé l'octroi d'un financement totalisant 598 millions de dollars à 246 projets dans une variété de secteurs, dont l'exploration et la production d'énergie, la production électrique, l'utilisation de l'énergie, les transports, l'agriculture et la gestion des déchets.

En plus de son soutien traditionnel au développement avancé et à la démonstration précommerciale de technologies propres, TDDC s'est engagée dans des activités de préfinancement pour aider à améliorer la capacité de gestion et la proposition de valeur des entreprises disposant de technologies prometteuses à un stade précoce. Elle a conclu des protocoles d'entente avec Exportation et développement Canada en vue d'ouvrir de nouvelles voies de financement commercial et de débouchés à l'exportation pour les entreprises qu'elle appuie (TDDC, 2012).

MaRS fournit des ressources — conseils d'experts, études de marché, enseignement, ainsi que des liens avec des personnes ayant des talents particuliers, des clients et des sources de capital — pour s'assurer que des entreprises ayant un fort potentiel puissent démarrer et croître au Canada, et prendre de l'ampleur sur les marchés internationaux.

MaRS (2012a, 2013) a créé plus de 4 000 emplois et, au cours des trois dernières années, a levé au total plus de 750 millions de dollars en capitaux et touché des revenus dépassant 375 millions de dollars. En 2012 seulement, les entreprises MaRS ont recueilli plus de 350 millions de dollars en capitaux auprès d'une combinaison d'investisseurs providentiels, de fonds de capital de risque, de programmes gouvernementaux et de sources de financement par emprunt (MaRS, 2012a).

MaRS appuie la croissance des entreprises de technologique établies en Ontario grâce à la gestion du Fonds d'accélération des investissements. Ce programme, financé par le gouvernement de l'Ontario et administré par le Réseau ontarien des entrepreneurs, investit jusqu'à 500 000 dollars dans des entreprises technologiques en démarrage

suite à la page suivante

(MaRS, 2012b). MaRS fait aussi équipe avec le MaRS Cleantech Fund — un fonds de 30 millions de dollars soutenu par le secteur privé qui met l'accent sur les entreprises de technologies propres à un stade précoce qui démontre un solide potentiel. Le fonds investit généralement jusqu'à 1 million de dollars dans des entreprises MaRS Cleantech sous forme d'investissement initial, avec la possibilité d'un financement de suivi. En outre, MaRS administre JOLT, un programme d'accélérateur de technologie appuyant les entreprises en démarrage les plus prometteuses qui ciblent le Web et les technologies mobiles en leur fournissant un espace dans le MaRS Commons, un financement d'amorçage de 50 000 dollars et un service de mentorat, ainsi que l'accès à des partenaires et des investisseurs (MaRS, 2012b; JOLT, 2014).

5.2 NORMES ET ACCÈS AUX DONNÉES

Tout ce qui entrave les initiatives de coopération entre des acteurs est un défi pour la réalisation de tous les avantages découlant des possibilités des TIC sur le plan de la durabilité. Au chapitre 4, le comité d'experts a souligné le manque d'accès aux données et d'interopérabilité comme étant un défi particulier. Dans la présente section, les effets de deux pratiques inefficaces, les systèmes de données fragmentés et le manque de normalisation et d'accessibilité des données, sont étudiés plus en détail.

5.2.1 Explorer les défis

Systèmes de données fragmentés

Les systèmes fragmentés peuvent compliquer l'exploitation des possibilités des TIC sur le plan de la durabilité ou l'application (ou l'élaboration) de ces solutions dans plusieurs sphères de compétence. La fragmentation provient souvent d'un manque de coopération entre les principaux acteurs et institutions, ou de l'absence d'un cadre politique unifié. Dans certains cas, la fragmentation des structures ou du contrôle administratif peut rendre plus difficile l'obtention des capitaux requis pour mettre en œuvre une solution. Un exemple notable de contrôle administratif fragmenté au Canada est la propriété des données sur les services publics (voir la section 3.2).

La complexité du contrôle administratif peut également rendre plus difficile l'exploitation des possibilités engendrées par les TIC. Ainsi, au Canada, la propriété des infrastructures de transport est partagée entre trois ordres de gouvernement. En outre, les administrations municipales, qui exploitent la plupart des systèmes de transport en commun, peuvent ne pas avoir le capital nécessaire pour faire des investissements à grande échelle. Les rapports intergouvernementaux complexes créent des obstacles au partage des données, d'où la nécessité d'accroître la collaboration et la coopération.

Les structures de données fragmentées ne sont pas l'apanage du secteur public. Les structures, les relations et les pratiques des entreprises peuvent également poser des obstacles à la collaboration et au partage des données. La construction et l'exploitation de bâtiments intelligents en sont un exemple. L'industrie de la construction est centrée sur l'information et les processus (Eastman *et al.*, 2011), et la conception et la construction d'un bâtiment sont des tâches complexes nécessitant une perspective multidisciplinaire (Isikdag *et al.*, 2007). La forme la plus courante de communication entre les membres de l'équipe multidisciplinaire est la documentation sur papier (Isikdag *et al.*, 2007). L'emploi de documents non numériques nuit à une communication efficace des concepts et des idées entre les participants, ce qui freine l'efficacité et le rendement de l'industrie. La poussée en faveur de l'innovation et de l'adoption de la technologie dans l'industrie de la construction axées sur la modélisation des données pourrait, avec le temps, permettre d'aplanir certains de ces défis, même si cela constitue une entreprise complexe nécessitant un effort coordonné en pratique (Staub-French et Khanzode, 2007).

Manque de normalisation et d'accessibilité des données

Étant donné que les appareils des TIC sont devenus plus puissants et omniprésents et qu'ils offrent des fonctions plus variées, le volume total des données qu'ils produisent augmente rapidement. En outre, les TIC produisent différents types de données qui peuvent ou non être compatibles. Cette prolifération de données comporte des avantages potentiels (rappelons la discussion sur les mégadonnées à la section 3.2), mais l'accessibilité et la compatibilité sont essentielles. Les utilisateurs (gouvernements, entreprises et particuliers) ne peuvent tirer parti d'un ensemble de données que s'il est accessible et se présente dans un format utilisable.

Un jour dans la vie

Jonas, Halifax

14:00 (HNA)

Jonas tourne à la page 180 de la proposition que le gouvernement lui a envoyée. Il s'agit d'une offre d'achat des droits sur le passe-temps et produit qu'il a créé, un système d'informatique répartie qu'il appelle Pivot. Recueillant des données à des centaines de millions de sources, il permet à l'utilisateur de modéliser des stratégies potentielles d'adaptation. Pivot évalue ensuite chaque stratégie de diverses façons, toutes axées sur les risques, les coûts et les avantages quantifiables. Le système a donné d'excellents résultats à ceux qui y ont accès, et il a suscité de nombreuses tentatives d'imitation. Mais la complexité croissante des demandes des utilisateurs a commencé

suite à la page suivante

à tester les limites du programme et, dans certains cas, des programmes semblables ont été impliqués dans des décisions désastreuses. Pire encore, le programme ne fonctionne que sur le système d'origine et n'a presque aucune interopérabilité avec d'autres réseaux et outils. La proposition englobe un plan pour transférer l'ensemble du système sur les serveurs du gouvernement.

Bien que Jonas soit réticent à céder le contrôle du projet, il n'est pas ingénieur en logiciel et les exigences de son système commencent à dépasser l'infrastructure à laquelle il a librement accès. La proposition prévoit des dispositions visant à rendre le code disponible à d'autres programmeurs sans frais, ainsi qu'une exigence à l'effet que les travaux dérivés soient assujettis à une licence similaire. Jonas a insisté sur ce point. Détail agréable, la proposition présente aussi ses données sous une forme permettant leur inclusion dans Pivot lui-même.

La diversité croissante des sources de données, à la fois structurées (lisibles par ordinateur) et non structurées, peut nuire à la capacité des logiciels de traiter, gérer, analyser et combiner des ensembles de données. À titre d'exemple, les données relatives au climat à l'échelle régionale peuvent être recueillies dans des formats qui ne sont pas utiles pour les décideurs ou les utilisateurs finaux (TRNEE, 2009).

Compte tenu de la grande quantité de données actuellement produites, trouver le bon type de données peut également s'avérer difficile, surtout dans les cas où les utilisateurs veulent d'abord faire un survol rapide des données parce qu'ils ne sont pas sûrs de ce qu'ils cherchent. Bref, la fragmentation et le manque de normalisation et d'accessibilité des données sont des obstacles importants qu'il importe de surmonter pour réaliser l'intégration des données et ouvrir la porte à de nouvelles possibilités dans l'optique de la durabilité.

5.2.2 Pistes de solutions

Un avantage manifeste des TIC est leur capacité de briser les silos et de favoriser la convergence des infrastructures traditionnelles. La convergence — pour l'électricité, les bâtiments, les transports ou d'autres infrastructures clés — pourrait placer le Canada sur la voie de la durabilité. Le réseau électrique fournit un bon exemple : l'infrastructure de réseau serait beaucoup plus efficace si le système avait accès et pouvait anticiper précisément la consommation d'énergie, les changements climatiques et même les profils de conduite automobile.

À mesure que les systèmes complexes prennent de la maturité, la sauvegarde du développement de solutions efficientes et efficaces nécessitera de plus en plus des outils qui appuient l'interopérabilité des différentes technologies et

Pratique prometteuse

L'adoption et l'utilisation de normes d'interopérabilité avec les technologies de réseaux intelligents

Des réseaux intelligents efficaces doivent être en mesure d'échanger des informations et de travailler ensemble au sein de systèmes holistiques (Ontario Smart Grid Forum, 2010). Cela nécessite l'élaboration et l'application de normes d'interopérabilité pour les systèmes de gestion des réseaux. Au Canada, le Groupe de travail sur les normes et la technologie des réseaux intelligents a recommandé une série de normes prioritaires pour les réseaux intelligents. En particulier, le groupe de travail a mis l'accent sur les normes applicables aux communications sur le marché de l'énergie, aux systèmes de gestion de l'énergie, aux systèmes de gestion de la distribution, à la surveillance et à l'acquisition des données, à l'automatisation des sous-stations, à l'automatisation de la distribution, et à la répartition des ressources énergétiques et la sécurité (CCN, 2012). L'adoption de ces normes est essentielle à la mise en place d'un système de réseaux intelligents (Gungor *et al.*, 2011b). Diverses activités ont été entreprises en vue de la normalisation des réseaux intelligents, y compris des normes d'interopérabilité. Deux exemples sont le Plan stratégique de déploiement de la plateforme technologique pour les réseaux intelligents de l'Union européenne (SmartGrids, 2010) et l'engagement de la Commission de l'énergie de l'Ontario à fournir le cadre réglementaire pour une initiative de réunion faisant appel à des technologies intelligentes (CEO, 2007). La sécurité de l'information et une meilleure interopérabilité figurent parmi les objectifs qui pourraient être atteints grâce à une normalisation des réseaux intelligents (Gungor *et al.*, 2011a, tel que cité dans Gungor *et al.*, 2011b).

bases de données. Ces outils fourniraient aussi aux acteurs un langage commun pour développer une technologie et en promouvoir l'adoption. Cela requiert l'adoption de spécifications techniques pour faciliter la collaboration entre les acteurs du secteur privé, les différents gouvernements, les organisations à but non lucratif et les citoyens.

Les normes et les données peuvent être abordées à deux niveaux d'ouverture (voir Liang, 2012) :

- **Ouverture technique** : Recourir à la normalisation et à la standardisation pour que différents systèmes puissent se parler entre eux permet une plus grande souplesse. C'est ce qu'on appelle aussi des *normes ouvertes*.
- **Ouverture au niveau des politiques et des établissements** : L'élaboration de processus qui concourent à l'accessibilité et à la facilité d'utilisation des données mène à une plus grande souplesse dans la gestion des applications et la réduction des coûts. C'est ce qu'on appelle aussi *l'ouverture des données*.

Ces deux options sont examinées ici.

Normes ouvertes (ouverture technique)

Les normes ouvertes sont applicables à la fois aux normes techniques et aux normes de données. Les normes ouvertes facilitent l'interopérabilité, encouragent un partage efficient et permettent la comparaison des données (voir l'encadré 5.1).

Le Comité national canadien auprès du groupe de travail de la Commission électrotechnique internationale sur les normes et la technologie de réseau intelligent a recommandé que le Conseil canadien des normes « encourage les organismes de réglementation et les services publics provinciaux [et] territoriaux, au moment d'élaborer des plans d'action pour les initiatives de réseau intelligent, à s'assurer que les systèmes migrent des technologies de propriété exclusive à des normes ouvertes » [traduction] (CCN, 2012). L'Allemagne a également perçu des avantages à promouvoir l'élaboration de normes ouvertes et le soutien des fabricants aux premières étapes de la normalisation (BMWi, 2010). Les normes ouvertes favorisent non seulement

Un jour dans la vie

Quinn, Regina

18:40 (HNC)

Quinn voit un avis indiquant qu'un urbaniste de la ville de Québec s'apprête à faire une allocution sur un service de diffusion en continu accessible aux auditeurs ayant certaines qualifications en génie ou en planification urbaine. Le sujet est classé dans la catégorie floue de « l'adaptabilité », et la portée est décrite comme couvrant le mois prochain.

Alors que le planificateur commence son exposé, les auditeurs se mettent à discuter du contenu entre eux. Certains choisissent de converser avec des personnes à proximité, tandis que d'autres ciblent des gens qui partagent leurs intérêts. Notant que la conversation se concentre sur les inondations, Quinn cherche des auditeurs qui vivent dans les zones côtières. En quelques minutes, Quinn est au centre d'un débat animé. Le groupe isole un problème présenté dans l'allocution de l'urbaniste — celui de préserver l'infrastructure de renseignements sensibles dans des conditions difficiles — et suggère des améliorations au niveau logiciel qui pourraient réduire considérablement les dommages causés par de graves inondations. Il propose notamment une plus grande intégration de systèmes d'alerte pour que les utilisateurs humains puissent être plus rapidement et efficacement informés à mesure que la situation évolue.

la collaboration et la coopération entre les intervenants, mais lorsqu'elles sont placées sous le contrôle d'organismes de normalisation crédibles, elles sont aussi une condition préalable au soutien de nouvelles plateformes renforçant la protection des renseignements personnels (Cavoukian, s.d.).

Il est nécessaire d'élaborer des normes ouvertes (BMWi, 2010; CCN, 2012; Liang, 2012). Les possibilités issues des TIC touchent de nombreux secteurs de l'économie, intervenants et genres de technologies, et les travaux de normalisation sont souvent menés par des organisations différentes selon le type d'infrastructure. À titre d'exemple, Ressources naturelles Canada et le Conseil canadien des normes ont créé un groupe de travail sur la technologie et les normes de réseau intelligent. Le mandat du groupe de travail est de « promouvoir une normalisation efficiente et efficace au Canada » [traduction] (Bryans et Lojk, 2010). À ce jour, aucun consensus clair n'est ressorti sur les normes existantes et les technologies en constante évolution (CCN, 2012). En revanche, les normes pour les capteurs et les réseaux de capteurs, élaborées principalement à l'initiative de l'industrie, ont atteint une maturité particulière. Ainsi, des normes techniques telles que ZigBee (IEEE 802.15.4), 6loPAN et Z-Wave sont en place pour les protocoles de réseaux sans fil utilisés par les appareils et les capteurs. Le World Wide Web Consortium (W3C), une organisation édictant des normes pour le Web, possède un groupe de travail sur les capteurs et les réseaux de capteurs et a récemment élaboré l'ontologie Semantic Sensor Network (SSN)[6]. L'industrie des télécommunications a été l'une des premières à adopter des normes ouvertes, une condition essentielle à l'adoption généralisée du téléphone, des téléphones cellulaires et d'Internet (Leiner *et al.*, 1997). Dans le domaine de la modélisation environnementale, OGC Sensor Web Enablement est un exemple de modèle de normes de données parvenu à maturité.

Ouverture des données (ouverture au niveau des politiques et des établissements)

L'ouverture des données (en combinaison avec des normes de données appropriées) sur la consommation d'énergie et de services publics et la circulation permet à toute personne ou application d'utiliser ou de jumeler des ensembles de données. Si des ensembles de données sont disponibles, accessibles et utilisables, il pourrait en découler les avantages publics suivants :

- participation et surveillance accrues des citoyens;
- amélioration de la collaboration et de l'innovation;
- amélioration de l'efficacité;
- soutien de nouveaux partenariats et de possibilités nouvelles.

6 Pour plus d'information, consulter le site http://www.w3.org/community/ssn-cg/wiki/SSN_Applications.

Encadré 5.1
Caractéristiques des normes ouvertes

Le rapport intitulé *European Interoperability Framework for Pan-European eGovernment Services* définit les normes ouvertes et les caractéristiques de spécification nécessaires pour réaliser l'interopérabilité des services gouvernementaux offerts aux citoyens et aux entreprises (Commission européenne, 2004) :

- La norme devrait être adoptée et maintenue par une organisation à but non lucratif et le processus décisionnel doit être transparent.
- La norme devrait être publiée, disponible sans frais ou à un prix modique et inclure la permission de la copier, de la distribuer et de l'utiliser.
- La propriété intellectuelle de toutes les normes devrait pouvoir être utilisée sans qu'il soit nécessaire de payer des redevances ou des droits de licence.

Pratique prometteuse
GéoBase

GéoBase est une initiative provenant d'organismes fédéraux, provinciaux, territoriaux et municipaux en collaboration avec le Conseil canadien de géomatique. Poussées par les contraintes budgétaires et les défis de la collecte de données sur un territoire aussi vaste que varié, les organisations géospatiales canadiennes ont commencé à repenser la façon de recueillir, de traiter et de distribuer les données géospatiales. GéoBase a été lancé en 2001 dans le but de fournir à tous les Canadiens un accès libre et gratuit à des données géospatiales uniques et de grande qualité. Les Canadiens peuvent accéder aux données pour toute une variété d'applications, y compris l'exploitation durable des ressources, la protection de l'environnement, ainsi que la sécurité et la protection du public (GéoBase, 2014).

Le succès de nombreux projets et applications axés sur des données ouvertes dépend directement de la volonté des parties prenantes de partager leurs données, de l'obtention de licences appropriées et de l'accès à des outils pour distribuer et intégrer les données, et de l'existence d'ontologies communes. Divers ordres de gouvernement ont commencé à ouvrir l'accès aux données sur le gouvernement et l'administration publique pour les citoyens et les secteurs public et privé. Au Canada, des initiatives sont en cours au niveau municipal, provincial et fédéral en vue de partager des ensembles de données avec le public.

En 2010, les villes d'Ottawa, Toronto, Edmonton et Vancouver ont convenu de collaborer à une initiative nationale de transparence gouvernementale par le biais d'un cadre de données ouvertes. Le G4 Open Data Framework vise à faire preuve de leadership dans le mouvement vers des données ouvertes, à partager des technologies et des ressources, à échanger de l'information sur les expériences, à identifier les problèmes communs et à travailler à l'élaboration de normes de données communes tout en appuyant d'autres administrations qui voudraient constituer des catalogues de données ouvertes (Giggey, 2012). Le G4 Open Data Framework repose sur les 10 principes de la Sunlight Fondation pour l'ouverture et l'accessibilité des données gouvernementale au bénéfice du public : le caractère exhaustif, la primauté, l'actualité, la facilité d'accès physique et électronique, la lisibilité de la machine, la non-discrimination, l'utilisation de normes de propriété commune, l'octroi de licences, la permanence et les coûts d'utilisation (Sunlight Foundation, 2010).

Les avantages de la collaboration du G4 ont été immédiats. Ainsi, Vancouver et Toronto ont inauguré des catalogues de données ouvertes (data.vancouver.ca et DataTO.org) qui donnent au public accès aux ensembles de données de la ville et elles acceptent les demandes de publication de données supplémentaires (Giggey, 2012). Edmonton et Ottawa ont hébergé des concours sur les données ouvertes. Edmonton, première à lancer son concours (Apps4Edmonton), a partagé les leçons apprises ainsi que sa plateforme technique, afin qu'Ottawa puisse la réutiliser sans investir de capital supplémentaire (Giggey, 2012). À ce jour, une trentaine de villes canadiennes ont inauguré leurs propres sites de données ouvertes (Gouvernement du Canada, 2013a).

Pratique prometteuse

L'initiative sur les données énergétiques aux États-Unis

Le gouvernement américain, par le truchement du département de l'Énergie et d'autres organismes gouvernementaux, a lancé l'Energy Data Initiative dans le but d'utiliser des données gouvernementales et non gouvernementales pour créer des possibilités d'économiser de l'argent et de l'énergie (Connected World, 2013). Cette initiative met des données nouvelles et inexploitées à la disposition des entrepreneurs pour susciter le développement de nouveaux produits et services.

suite à la page suivante

Les objectifs de l'Energy Data Initiative sont les suivants :

- « Travailler avec les propriétaires de données au sein du gouvernement et à l'extérieur pour rendre les données sur l'énergie disponibles, lisibles par machine et accessibles, tout en s'assurant que les renseignements personnels soient protégés ».

- « Collaborer avec des entrepreneurs et des innovateurs du secteur privé pour s'assurer qu'ils sont au courant des ressources numériques existantes et nouvellement disponibles, en les encourageant à inclure ces données comme intrants dans de nouveaux produits, services, et caractéristiques de produits qui améliorent la productivité énergétique et servent de catalyseur à la transition vers une économie de l'énergie propre ». [Traduction] (Gouvernement des États-Unis, s.d.).

De façon similaire, la plupart des gouvernements provinciaux ont ouvert des portails de données ces dernières années pour donner au public accès à un large éventail de données gouvernementales sous une forme lisible par machine avec des licences ouvertes[7].

En octobre 2012, le gouvernement canadien a inauguré le Portail de données ouvertes, qui est géré par la Direction du dirigeant principal de l'information au Secrétariat du Conseil du Trésor. Le Portail offre plus de 273 000 ensembles de données de 21 organismes participants et a donné lieu à environ 1 million de sessions d'utilisateurs en huit mois environ, (Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2012). L'offre de données comprend 171 ensembles de données d'Environnement Canada et couvre un large éventail de sujets (p. ex. les émissions de substances toxiques, les indicateurs sur l'usage de pesticides et d'engrais chimiques par les ménages, les niveaux de phosphore dans le fleuve Saint-Laurent) (Environnement Canada, Division des inventaires et rapports sur les polluants, 2013). Plus récemment, en 2014, le gouvernement fédéral a proposé la création de l'Institut des données ouvertes qui jouerait « un rôle dans l'agrégation de grands ensembles de données, éclairant l'élaboration des normes d'interopérabilité et servant de catalyseur au développement et à la commercialisation de nouvelles applications tributaires des données » [traduction] (Gouvernement du Canada, 2014c).

7 Une liste à jour des portails de données ouvertes se trouve à http://donnees.gc.ca/fra/cartes/donnees-ouvertes-au-canada.

5.3 ENSEIGNEMENT ET COMPÉTENCES INTÉGRÉS AUX TIC

Une solide base de connaissances est une partie intégrante et, en fait, un volet fondamental d'un écosystème d'innovation en santé (CAC, 2013b). Par conséquent, elle a une importance critique pour la mise en œuvre réussie de solutions nouvelles et novatrices axées sur les TIC en vue de parvenir à un Canada durable. Un manque de compétences en TIC a été mentionné au chapitre 4 comme un défi potentiel entravant la réalisation de plusieurs possibilités offertes par les TIC au Canada. Cette section explore plus à fond les difficultés associées à la formation d'une société bien familiarisée avec l'univers numérique et à l'accès à une main-d'œuvre dynamique et renseignée sur les TIC, et elle met en évidence certaines pistes de solutions pour surmonter ces défis.

5.3.1 Explorer les défis

Alors que les TIC envahissent tous les domaines de la vie publique, les Canadiens doivent posséder de solides compétences en TIC dans leur vie quotidienne et sur le marché du travail. Le système d'enseignement canadien pourrait éprouver de la difficulté à équiper des générations d'étudiants avec les compétences et les connaissances requises pour répondre aux demandes changeantes des sciences et de la technologie au 21e siècle. L'objectif clé de la littéracie numérique et informatique est « de renforcer les capacités dans des domaines qui favorisent une société résiliente capable de s'adapter efficacement aux mutations rapides [...] en mettant l'accent sur des compétences telles que la pensée critique, le caractère, la créativité, l'innovation, et la littéracie numérique et informatique » [traduction] (Groupe de travail d'Action Canada, 2013). C21 Canada, un organisme à but non lucratif militant établi au Canada, reconnaît également les compétences numériques et informatiques parmi les concepts clés de l'apprentissage au 21e siècle (C21 Canada, 2012).

Alors que les mandats des systèmes d'éducation des provinces mettent fortement l'accent sur l'enseignement des TIC et la littéracie numérique, Action Canada fait état de divergences entre les politiques provinciales sur l'intégration des TIC aux programmes d'enseignement et ce qui est enseigné en classe (Groupe de travail d'Action Canada, 2013). Le rapport du Groupe de travail d'Action Canada sur les systèmes éducatifs pour le 21e siècle observe un lien positif entre la formation des enseignants et la facilitation de l'apprentissage, ainsi qu'une relation étroite entre l'utilisation active des TIC et d'autres aptitudes d'apprentissage. Cela incite à penser que la technologie est un outil d'apprentissage clé au 21e siècle. Le rapport recommande une stratégie provinciale mieux intégrée et cohérente partout au Canada pour répondre aux besoins d'apprentissage et combler les disparités entre les politiques et leur application effective en salle de classe (Groupe de travail d'Action Canada, 2013).

Compte tenu de la complexité croissante des applications logicielles et de la demande croissante de professionnels en informatique et en analyse des données, les étudiants doivent aussi acquérir de solides compétences en programmation informatique et en développement de technologies de pointe (Wallis, 2012). Les aptitudes à la logique informatique et à la littéracie numérique vont de pair avec la résolution de problèmes et la pensée créatrice, critique et réflective — des éléments fondamentaux de l'éducation moderne. Selon l'organisation Partnership for 21st Century Skills, établie aux États-Unis, l'éducation et le perfectionnement professionnel doivent englober le spectre complet des technologies numériques comme outils de recherche, d'organisation et de communication de l'information, ainsi que pour accéder, gérer, analyser et créer les technologies et l'information nouvelles qui sont nécessaires à l'économie du savoir d'aujourd'hui, fondée sur les TIC (Partnership for 21st Century Skills, 2012).

Il y a également une demande croissante de compétences et de talents dans le secteur des TIC à la faveur de changements technologiques rapides et d'une population active vieillissante. Le Conseil des technologies de l'information et des communications (CTIC) estime que les employeurs canadiens devront embaucher quelque 106 000 travailleurs des TIC entre 2011 et 2016 (CTIC, 2011). En outre, le CTIC estime qu'entre 2013 et 2018, les secteurs émergents des TIC tels que la nuagique, l'informatique mobile et les applications connexes devraient créer 78 000 emplois additionnels, alors que d'autres secteurs comme l'analytique de données ajouteront plus de 4 000 nouveaux emplois annuellement (CTIC, 2014).

Les pénuries potentielles de main-d'œuvre dans le secteur des TIC (Nordicity et Ticoll, 2012) peuvent poser des défis importants pour la compétitivité du Canada et sa transition vers une économie verte. Le CTIC prévoit de graves pénuries de personnel qualifié chez les gestionnaires de systèmes informatiques et d'information, les gestionnaires de services de télécommunications, les analystes et consultants en systèmes d'information et les techniciens en radiotélédiffusion (CTIC, 2011). Le McKinsey Global Institute prédit pour sa part une pénurie d'expertise en analytique de données. Aux États-Unis seulement, il pourrait manquer jusqu'à 190 000 personnes possédant des compétences spécifiques en analyse et quelque 1,5 million de gestionnaires et d'analystes qui comprennent les mégadonnées (Manyika *et al.*, 2011).

Les pénuries prévues de talents dans les TIC seront amplifiées par des problèmes d'offre et de demande. Du côté de la demande, il y a un besoin croissant de professionnels des TIC dans ce secteur, ainsi que dans d'autres secteurs tels que les finances, l'éducation, et la fabrication (Nordicity et Ticoll, 2012).

Du côté de l'offre, les universités (un bassin de talents clé pour le secteur des TIC) ne produisent peut-être pas assez de diplômés dans les domaines liés aux TIC, comme l'informatique et l'ingénierie (ACTI, 2013). Les inscriptions au premier cycle dans ces domaines ont diminué depuis 2001, une conséquence de l'éclatement de la bulle dot-com en 2000 (Nordicity et Ticoll, 2012).

Selon un rapport du Conference Board du Canada, les nouvelles générations se distancent des programmes d'enseignement et des activités liés aux TIC en partie à cause de la perception répandue que les emplois dans les TIC sont difficiles, complexes et peu agréables (Conference Board du Canada, 2009). Le rapport observe également un écart entre les sexes, alors que les étudiants envisagent plus favorablement une carrière dans les TIC que les étudiantes. Les femmes demeurent sous-représentées dans les carrières axées sur le savoir, comme dans les secteurs des sciences de la vie, des TIC, de l'aérospatiale, de l'électricité et de la défense (Orser *et al.*, 2012). En ce qui concerne plus précisément la sous-représentation dans les carrières axées sur les TIC, certaines des raisons évoquées étaient le manque de mentorat, de modèles et d'accès à des réseaux informels de décideurs (Foust-Cummings *et al.*, 2008). Ces facteurs, conjugués à la prévision d'un marché du travail serré et d'un fossé démographique imputable à la sortie des baby-boomers du marché du travail, pourraient constituer de sérieux obstacles aux efforts visant à combler la pénurie de compétences prévue.

Il peut aussi y avoir un décalage entre les compétences recherchées par les employeurs et celles qui sont disponibles dans le bassin de main-d'œuvre (CTIC, 2011). Les employeurs recherchent un mélange éclectique d'expertise technique appropriée, de compétences non techniques (expertise en affaires et en communication) (Cukier, 2003) et la perspicacité requise pour repérer des besoins d'affaires et des applications potentielles des TIC (CTIC, 2011). Par conséquent, il peut y avoir une asymétrie sur le marché du travail entre la combinaison de compétences souhaitée par les employeurs et les qualifications des gens qui cherchent un emploi, en particulier parmi les nouveaux diplômés et les professionnels formés à l'étranger (CTIC, 2011). Bien que cela ne soit pas abordé dans le présent rapport, le comité d'experts reconnaît la nécessité d'inclure davantage de compétences en TIC dans les autres programmes d'enseignement. Les ingénieurs, les gestionnaires, les travailleurs sociaux, les biologistes et beaucoup d'autres professions bénéficieraient d'un apport de connaissances sur les TIC et la durabilité à leurs compétences principales. En outre, les emplois nécessitant des compétences techniques en TI ou en analyse de données pour le développement de logiciels et d'applications exigent de plus en plus de compétences en sciences sociales pour être en mesure de faire une bonne lecture sociale des mégadonnées (LSE, 2012).

Alors que nombre d'intervenants du secteur des TIC projettent une pénurie de compétences, d'autres mettent en doute cette hypothèse. Des recherches préliminaires montrent que la preuve empirique sur les pénuries de main-d'œuvre dans le secteur des TIC est faible. Un argument clé à la base de cette hypothèse est que les salaires dans ce secteur sont demeurés relativement constants malgré l'augmentation présumée de la demande (Veall, 2013). Des recherches supplémentaires pourraient être requises afin d'acquérir une meilleure compréhension de cette question.

5.3.2 Pistes de solutions

La réalisation des avantages d'une économie durable fondée sur les TIC dépend de l'existence d'une société bien familiarisée avec le monde numérique et de l'accès à un bassin de talents en TIC offrant la bonne combinaison de compétences techniques et non techniques. Pour améliorer la littéracie numérique et combler l'écart de compétences, il faudrait adopter une approche coordonnée mettant à contribution les gouvernements, l'industrie, les universités et les particuliers. La présente section décrit brièvement certaines solutions qui pourraient aider à surmonter ces défis.

Promotion des compétences numériques à tous les niveaux : L'acquisition des aptitudes techniques nécessaires pour adopter, utiliser et développer davantage les applications des TIC peut débuter à l'école primaire, se poursuivre jusqu'au niveau postuniversitaire et inclure des volets hors de la salle de classe traditionnelle (ETS, 2002). Grâce à des partenariats avec des établissements d'enseignement de différents niveaux, des groupes d'intérêt public, des centres d'apprentissage, des écoles d'anglais langue seconde (ESL), des programmes de formation des adultes et des initiatives de sensibilisation communautaire, il est possible de s'assurer que les gens aient l'occasion d'acquérir les compétences nécessaires dans une société du savoir fondée sur la technologie numérique, même s'ils ne sont pas directement employés dans le secteur des TIC. Les compétences requises pour occuper un poste dans ce secteur peuvent aussi être renforcées par des partenariats entre les établissements d'enseignement postsecondaire et l'industrie (Edmondson *et al.*, 2012). Un exemple est le Seneca Centre for Development of Open Technology, où les élèves se familiarisent et travaillent avec les technologies de logiciels libres et ont la possibilité de faire un stage chez Mozilla. Beaucoup d'étudiants ont bénéficié de cette collaboration en acquérant des compétences numériques avancées par un apprentissage pratique (Robles *et al.*, 2011).

Renforcement des capacités en incitant des immigrants et des femmes à rejoindre le bassin de main-d'œuvre : Les deux tiers des entreprises canadiennes de TIC interrogées ont affirmé avoir embauché des professionnels formés à l'étranger pour combler les pénuries de compétences qu'elles n'ont pu trouver au Canada (Nordicity et Ticoll, 2012). Cela souligne le rôle important que joueront les immigrants dans le bassin de main-d'œuvre des TIC à l'avenir (ACTI, 2013). En outre, on remarque une présence accrue des femmes dans les carrières axées sur les TIC. Ces tendances peuvent signaler une occasion d'aborder ces préoccupations et d'autres concernant notre capacité de former des compétences dans les TIC.

Capitaliser sur les occasions inexploitées des applications et de l'analytique : Tel qu'énoncé tout au long du rapport, les applications et l'analytique de données sont essentielles au fonctionnement efficace des réseaux intelligents, des bâtiments, des systèmes de transport en commun et d'autres solutions axées sur les TIC. Cela représente pour le Canada une occasion importante et, jusqu'à maintenant, largement inexploitée. Les quantités sans précédent de données produites par les appareils destinés à l'utilisateur final et autres matériels doivent être analysées pour être utiles. Afin de répondre à la demande pour les produits d'analytique de données, les applications et la main-d'œuvre qualifiée, le Canada doit développer le savoir-faire et promouvoir les carrières et les secteurs connexes. Qu'il s'agisse de l'aide à la prise de décision ou de l'automatisation des systèmes, de l'analytique et de la découverte de données, ou de l'organisation et de la gestion des données, il serait avantageux pour le Canada de miser sur ses atouts afin d'exploiter les occasions de marché pour les applications d'analytique de données de calibre mondial axées sur la durabilité.

5.4 FACILITER L'ACCEPTATION SOCIALE ET INSTITUTIONNELLE

Le succès des nouvelles technologies et des applications fondées sur les TIC dépend de la volonté des personnes, des entreprises ou de la société de les adopter et de les utiliser. Au chapitre 4, le comité d'experts a énuméré plusieurs facteurs qui influent sur le comportement des utilisateurs potentiels et qui peuvent entraver l'adoption et l'utilisation des nouvelles technologies. La présente section examine de plus près plusieurs de ces facteurs : le comportement humain, les habitudes et les caractéristiques culturelles, ainsi que les préoccupations en matière de confidentialité et de sécurité. Pour relever ces défis, la société doit promouvoir l'interconnectivité des systèmes et, parallèlement, développer et insister sur des normes rigoureuses de protection de la vie privée. Le comité met en lumière des façons dont la conception de technologies conviviales et un engagement envers la protection de la vie privée et le contrôle individuel

sur l'information résidant dans l'écosystème des données personnelles peuvent aider à concrétiser les avantages environnementaux et socioéconomiques des possibilités engendrées par les TIC.

5.4.1 Explorer les défis

Comportement humain

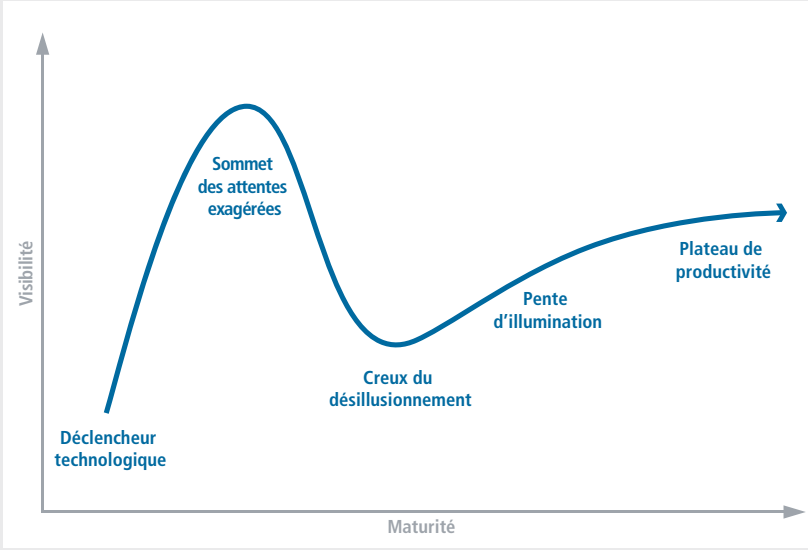
Les TIC ont changé la façon dont les gens apprennent : les récepteurs d'information et les apprenants passifs ont cédé la place à des demandeurs d'information et des apprenants actifs. Toutefois, ce changement a affecté les différents groupes de différentes manières en fonction de l'âge, des antécédents et du style d'apprentissage (Mignone *et al.*, 2008; Tong et Yang, 2009). Prensky (2001) a popularisé la notion de *fossé* dans les aptitudes technologiques et les comportements d'apprentissage entre la *génération du numérique*, élevée dans un milieu en interaction avec la technologie, et *les nouveaux arrivants au numérique*, qui ont adopté la technologie plus tard dans leur vie. Ainsi, cette différence peut avoir une influence sur qui participe aux activités d'externalisation ouverte et d'engagement en ligne. Comme l'explique Tom Watson dans *CauseWired*, les nouvelles générations de jeunes ont toujours vécu avec lnternet. Les nouvelles technologies et la propension des gens à communiquer ont créé le fondement de ce que Watson appelle « l'âge d'or de l'activisme et de la participation » (Watson, 2008). Comprendre le style d'apprentissage et les besoins du public cible pour une application des TIC est donc crucial à une conception et à une mise en œuvre appropriées des possibilités liées aux TIC qui concourent à la durabilité.

Habitudes et caractéristiques culturelles

Individuellement et collectivement, les caractéristiques culturelles des utilisateurs finaux peuvent influer sur leur adoption des applications des TIC. Ces caractéristiques comprennent la répartition sociale du pouvoir, une aversion pour l'incertitude ou le risque, et l'individualisme (Erumban et De Jong, 2006). Le fossé culturel entre la génération du numérique et les nouveaux venus au numérique peut aussi affecter la façon dont les gens interagissent avec la technologie, s'identifient à celle-ci, l'utilisent et l'acceptent (Prensky, 2001). Comme pour les styles d'apprentissage, il importe d'examiner ces questions pour assurer la pénétration d'une application des TIC parmi les personnes susceptibles de bénéficier le plus de son utilisation. Ainsi, une application qui cible les nouveaux immigrants au Canada doit être développée et commercialisée différemment d'une autre qui s'adresse aux citoyens actuels ou aux résidents de longue date.

Encadré 5.2

Le cycle de l'engouement — progression des attitudes humaines à l'égard des technologies



Gartner, Hype Cycle Research Methodology,
http://www.gartner.com/it/products/research/methodologies/research_hype.jsp

Introduit en 1995, le modèle du cycle de l'engouement (*Hype Cycle*) illustre la progression d'une technologie émergente, qui passe d'une période de grand intérêt et de zèle, à une période d'insatisfaction, et éventuellement à la compréhension de sa pertinence et de son importance véritable pour le marché. La première partie de la courbe, celle de l'engouement positif, est habituellement nourrie par les spéculations et les reportages dans les médias, tandis que la seconde partie, qui survient après le battage négatif, est influencée par l'amélioration des performances et l'adoption du marché au fil du temps. Ce cycle illustre la nature des réactions humaines aux nouvelles technologies et représente un modèle applicable à la plupart des technologies parce que les gens, plutôt que les technologies, sont le principal facteur qui ne change pas.

Le modèle est utilisé pour mettre en garde les entreprises de ne pas prendre de décisions d'investissement portant sur des choix technologiques en se fondant uniquement sur l'engouement, ou d'exclure l'adoption de technologies lorsqu'elles n'ont pas répondu aux attentes initiales.

(Linden et Fenn, 2003)

D'autres comportements humains peuvent aussi limiter l'efficacité d'une application des TIC, comme la résistance au changement d'une routine (Oliver, 1997). L'expérience montre que les gens sont souvent des créatures d'habitude, qui s'en tiennent à des routines et sont peu susceptibles de changer (Hupkes, 1982). Ainsi, dans le secteur des transports, les gens peuvent avoir des opinions négatives au sujet du transport en commun, comme l'inefficacité et le manque de fiabilité du service. Bien que l'adoption de technologies mobiles intelligentes puisse remettre en cause plusieurs de ces hypothèses négatives, certaines personnes opteraient encore pour des modes de transport privés. On trouve aussi des exemples dans le secteur des services et celui de la consommation; ici, même si les nouvelles technologies numériques offrent des solutions de rechange, les gens peuvent avoir une forte préférence pour des supports physiques tels que les disques en vinyle ou les livres imprimés sur papier (GeSI, 2012).

Des défis comportementaux peuvent aussi être associés aux usages des entreprises. Ainsi, au niveau organisationnel, les coutumes et pratiques commerciales courantes peuvent freiner l'adoption des nouvelles TIC, par exemple lorsque des entreprises continuent à utiliser un logiciel, même s'il peut être devenu désuet. Qu'ils soient liés aux personnes, aux entreprises ou à d'autres organisations, ces types de défis peuvent résulter de coutumes, de routines, de valeurs et de traditions.

Préoccupations en matière de confidentialité et de sécurité

La confidentialité et la sécurité des données sont une considération importante pour de nombreux utilisateurs des TIC; elles sont souvent citées comme une préoccupation majeure qui nuit à l'adoption de certaines solutions axées sur les TIC (Chan et Perrig, 2003). Des quantités croissantes de données sur la vie des gens sont recueillies et stockées par les TIC : de la télévision en circuit fermé, aux compteurs intelligents et aux systèmes de surveillance des bâtiments, aux services bancaires par Internet, aux sites de réseaux sociaux, et jusqu'à l'informatique en nuage. L'inquiétude au sujet de la façon dont les données seront utilisées, et de qui y aura accès va en augmentant (CTIC, 2012).

La plupart des Canadiens estiment qu'ils ont moins de vie privée qu'il y a 10 ans, et 65 % croient que la protection des renseignements personnels sera l'un des enjeux les plus importants au cours des 10 prochaines années (Harrisdecima, 2011). Ils considèrent également qu'ils n'ont pas suffisamment d'information pour comprendre comment les technologies peuvent affecter leur vie privée. En outre, les politiques de protection des renseignements personnels, perçues comme incertaines, sont rarement consultées par les utilisateurs (Ecotrust Canada, 2013).

Un jour dans la vie

Guy, Trois-Rivières

15:45 (HNE)

Guy vérifie son indice environnemental personnel pour le mois — une évaluation exceptionnellement précise en raison de la forte densité de capteurs qui se trouvent sur le campus. Constatant qu'il pourrait faire mieux, il ajuste son emploi du temps afin de reporter les tâches informatiques exigeantes hors des heures de pointe. Pendant qu'il vit sur le campus, il a décidé d'accorder aux réseaux un plus grand accès à ses renseignements qu'il ne le ferait autrement. Quand il se rend ailleurs, ses paramètres de confidentialité deviennent automatiquement plus restrictifs.

Guy sait que beaucoup de personnes ont des opinions différentes sur le niveau d'accès à accorder, et à qui. La sécurité de l'utilisateur et la protection de la vie privée font partie intégrante de la conception des logiciels, mais même avec certains droits protégés par la loi, il considère qu'il est téméraire d'adopter une attitude insouciante à propos des renseignements personnels.

Le Bureau du commissaire à la protection de la vie privée du Canada veille au respect des lois sur la protection des renseignements personnels à la fois pour le secteur public et le secteur privé; cependant, les entreprises s'autoréglementent également. Une étude de 2012 a constaté que 62 % des entreprises ont une politique de confidentialité. Celles qui n'en ont pas ont invoqué des raisons telles que :

- le manque perçu de nécessité (45 %);
- l'entreprise est trop petite (17 %);
- l'entreprise ne recueille pas de renseignements personnels sur les clients (14 %); ou
- l'entreprise n'y a jamais songé (10 %).

(Phoenix Strategic Perspectives Inc., 2012)

Le CTIC a récemment affirmé que, même si le Canada possède l'une des plus solides infrastructures numériques au monde, il est dépourvu à la fois de normes de cybersécurité strictes et de politiques et d'outils d'évaluation appropriés (CTIC, 2012). Alors que les réseaux informatiques transmettent des volumes croissants de données à caractère personnel, les questions de confidentialité et de sécurité liées à l'utilisation des TIC revêtent une importance particulière et doivent être solutionnées en faisant appel aux technologies existantes et

émergentes. Les révélations récentes au sujet de l'utilisation du *Patriot Act* aux États-Unis pour surveiller les appels téléphoniques privés et le trafic Internet en sont un exemple (Gellman et Poitras, 2013).

« Étant donné que l'information est démultipliée et partagée de plus en plus largement dans le monde, la tâche d'assurer la sécurité des données et la protection de la vie privée devient sans cesse plus difficile. L'information sur la santé, l'emplacement, la consommation d'électricité et les activités en ligne des gens peut faire l'objet d'une surveillance, ce qui soulève des inquiétudes quant au risque de discrimination basé sur le profilage, l'exclusion et la perte de contrôle » [traduction] (Omer et Polonetsky, 2012). Plus de 60 000 nouveaux programmes malveillants sont identifiés chaque jour aux États-Unis. Des responsables américains estiment que les menaces de cyberattaques dépasseront le terrorisme comme risque le plus grave pour la sécurité au pays (Adams, 2012).

L'informatique en nuage a été présentée comme le prochain stade de l'évolution d'Internet (voir le chapitre 3). Cependant, celle-ci est confrontée à des défis similaires à ceux de l'informatique stationnaire, par exemple la gestion et la protection de l'identité et la propriété des renseignements. En outre, des questions se posent au sujet de l'accès de tiers qui utilisent des réseaux, des serveurs, des dépôts de données et des applications logicielles, et de la distinction à faire entre les activités légitimes et illégitimes (CTIC, 2012). Les préoccupations croissantes du public et de l'industrie à l'égard de la sécurité ont déjà engendré un énorme marché mondial de la cybersécurité, évalué à entre 80 et 150 milliards de $US par an et qui est susceptible de croître à mesure que plus d'activités et d'informations se déplacent en ligne (CTIC, 2012).

Les questions de confidentialité et de sécurité doivent être prises en compte dans tout examen des possibilités qu'offrent les TIC en vue d'un Canada durable. La collecte ou la disponibilité croissante des renseignements personnels est amplifiée avec les systèmes de réseaux intégrés, l'automatisation et la fonctionnalité accrues des TIC et l'augmentation du nombre de dispositifs branchés au réseau qui agissent comme points d'accès autonomes. Cela est ressorti notamment des débats publics sur les problèmes de sécurité et de confidentialité potentiels liés à l'installation des compteurs intelligents de BC Hydro. Les consommateurs ont exprimé toute une série de préoccupations concernant le type de données collectées, leur accessibilité et la vulnérabilité du système à une intrusion ou une attaque. Ils s'inquiétaient également de la sécurité et de la protection de la vie privée, y compris le risque d'accès à distance par des tiers ou de manipulation du matériel ou du réseau pour établir quand quelqu'un se trouve à la maison, pour modifier les données enregistrées afin de hausser une facture, ou pour couper complètement l'alimentation (CBC News, 2011, 2013).

De façon générale, le niveau et le genre de préoccupations concernant la vie privée varient avec les caractéristiques démographiques. Ainsi, les jeunes gens qui ont grandi avec la technologie sont considérés comme étant moins sensibles aux menaces pour la sécurité et sont aussi mieux en mesure d'atténuer ces préoccupations en intervenant avec diligence (Levin *et al.*, 2008).

Au-delà de la protection des données personnelles, la question de la sécurité est importante pour protéger l'intégrité de l'infrastructure des TIC. Les données peuvent être compromises par toute une série de menaces, y compris les bogues, les pannes, les erreurs de manipulation, les problèmes de configuration ou les brèches de sécurité malveillantes. Selon Adams (2012), l'économie avancée du Canada, le gouvernement interconnecté et la proximité des États-Unis obligeront le gouvernement fédéral, l'industrie, le milieu universitaire et les citoyens à prendre collectivement des mesures permanentes et coordonnées pour atténuer et contrer les menaces qui pèsent sur la vie privée et la sécurité. Les vulnérabilités non colmatées peuvent compromettre la sécurité et l'intégrité du Canada et provoquer une réaction publique et une intervention au niveau de la réglementation qui risquent de freiner l'expansion des données et d'entraver l'innovation (Cavoukian et Jonas, 2012; Omer et Polonetsky, 2012).

5.4.2 Les pistes de solutions

L'acceptation sociale et institutionnelle des applications fondées sur les TIC peut être entravée par des comportements et des préoccupations en lien avec la protection de la vie privée et la sécurité. Dans l'esprit du comité d'experts, ces défis doivent être surmontés en mettant l'accent sur la conception des TIC, la sécurité des données et la protection de la vie privée.

Un jour dans la vie

Dorsey, St. John's

20:30 (HNT)

Dorsey relit les révisions finales de son rapport. Il retrace l'évolution et les effets de plusieurs initiatives prises par des citoyens eux-mêmes en réponse à la pénurie d'eau. L'une des initiatives les plus importantes découlait de la disponibilité sur le marché de lotions destinées à réduire les besoins en eau. Bien que le produit commercial ait connu un certain succès, il était impopulaire en Amérique du Nord et en Europe jusqu'à ce qu'un logiciel librement accessible pour la formulation de produits similaires ait été distribué. Le véritable potentiel de cette initiative est ressorti lorsque des étudiants au Canada ont modifié le programme, améliorant grandement sa capacité à tenir compte de l'impact environnemental d'ingrédients potentiels. Cette capacité a débouché sur

suite à la page suivante

un modèle qui est en cours d'application à d'autres formes de fabrication. Un serveur central (appartenant généralement au gouvernement ou à une université) a la tâche de classer les ressources en fonction de leurs effets environnementaux actuels et prévus et de transmettre en temps réel ces classements à des programmes qui recommandent des changements aux procédures de fabrication. Bien que les algorithmes complexes employés pour faire ces prévisions et y donner suite viennent de différents endroits, Dorsey est heureux d'annoncer que leur intégration est principalement le fruit des efforts des citoyens. Et tout aussi important, ces efforts se poursuivent et demeurent hautement décentralisés et gérés par des bénévoles.

L'importance d'une conception efficace des TIC

La capacité des technologies d'atteindre des objectifs de durabilité, y compris l'amélioration de la qualité de vie, dépend de leur acceptation et de leur utilisation appropriée par les personnes et les groupes. Une conception technique réussie dans l'optique de la durabilité doit donc tenir compte des aspects sociaux et humains ainsi que des facteurs techniques, environnementaux et économiques habituels. La conception des technologies tenant compte des besoins et des comportements humains peut conduire à des applications qui seront plus facilement adoptées et utilisées par divers groupes de personnes susceptibles de bénéficier de leur utilisation.

Alors que les technologies deviennent plus complexes et sont utilisées par des personnes possédant des antécédents et des niveaux de compétence variés et appartenant à des groupes d'âge différents, leur facilité d'utilisation et leur fonctionnalité influent fortement sur leur adoption et leurs avantages potentiels. Les interactions homme-machine simples, directes et pratiques peuvent engendrer des expériences positives. À leur tour, celles-ci se traduisent par l'utilisation continue des technologies, avec une amélioration potentielle de la qualité de vie et de l'impact sur l'environnement pour les utilisateurs. Ainsi, les services bancaires électroniques sont pratiques et faciles à utiliser. Partout dans le monde, des gens utilisent les services bancaires électroniques quotidiennement pour régler des factures électroniques qui ont une empreinte écologique plus faible que les transactions sur papier (Türk *et al.*, 2003; Laitner *et al.*, 2012; ABC, 2013).

Des groupes comme Design for All reconnaissent l'importance de la facilité d'utilisation dans la conception des TIC[8]. Ils préconisent une approche des produits centrée sur l'utilisateur traitant de l'ensemble des capacités, des

8 Pour plus d'information, consulter http://designforall.org/.

Encadré 5.3
L'effet coup de pouce

Il existe de nombreuses façons indirectes d'utiliser les TIC pour susciter des changements de comportement chez les gens et structurer les choix de manière à influencer le processus décisionnel. Un exemple est l'éco-étiquetage en ligne, qui fournit de l'information sur l'efficacité énergétique des produits offerts en ligne (Cave et Cave, 2012). Cet exemple illustre l'approche du coup de pouce, popularisée dans l'ouvrage de Thaler et Sunstein : *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness*, qui propose une architecture de choix pour les personnes fondée sur le concept du paternalisme libertaire (Thaler et Sunstein, 2008). Cette approche facilite indirectement les actions souhaitées en rendant certains choix souhaitables plus pratiques que d'autres, mais tout en laissant à l'utilisateur le soin de faire le choix final. Cependant, en comprenant ce qui influence les choix des gens, à l'aide de concepts tels que l'encadrement, l'ancrage, les incitatifs non économiques, les relations sociales et les dimensions humaines, cette approche peut permettre de pousser les gens à adopter des comportements susceptibles d'améliorer leur qualité de vie et d'atteindre des objectifs de durabilité.

compétences, des besoins et des préférences de la population d'utilisateurs, y compris les personnes marginalisées, celles ayant un handicap et les personnes âgées. Dans un rapport financé par la Commission européenne, Design for All a constaté que de nouvelles technologies sont requises afin d'incorporer assez d'intelligence pour permettre aux systèmes émergents de répondre aux besoins de différents utilisateurs, ou des mêmes utilisateurs dans des contextes différents (Emiliani *et al.*, 2008). Le rapport conclut également que les technologies sont souvent employées de manières nouvelles qui n'avaient pas été prévues ou intégrées à leur conception initiale, ce qui peut avoir des effets positifs et négatifs. La souplesse et les préférences des utilisateurs ont une grande importance dans la conception d'une technologie parce qu'elles facilitent la réorganisation et l'adaptabilité (Emiliani *et al.*, 2008).

Dès l'étape de la conception, les méthodes du concepteur doivent assurer la concordance entre les besoins des gens et ce qui est technologiquement possible et, dans le cadre d'une stratégie d'entreprise viable, convertir le produit en proposition de valeur pour le client (Brown, 2008). Cette approche centrée sur les gens, créatrice et réitérative, appelée *conception réfléchie*, fait intervenir des utilisateurs comme co-créateurs et met l'accent sur une conception axée sur l'intégration et la collaboration en tant que processus continu de prototypage, d'essai et de raffinement (Brown, 2008). Cette nouvelle approche

socioculturelle de la conception des technologies contraste nettement avec l'approche linéaire plus classique, où les concepteurs prédisent les préférences des utilisateurs et les fonctionnalités d'un produit en suivant une séquence prédéfinie d'étapes ordonnées.

Les liens entre la conception des TIC, les besoins et l'usage humains, et les résultats sur le plan de la durabilité, sont complexes parce que la technologie peut changer les rapports sociaux (Franklin, 1996). Il subsiste de nombreuses lacunes dans la compréhension de ce qui contribue au succès de l'acceptation et de l'utilisation des TIC. D'autres recherches s'imposent pour bien comprendre les facteurs de motivation internes et externes qui influent sur l'utilisation et l'application des TIC dans le domaine public et privé (Zhang, 2008). Les chercheurs en interactions homme-ordinateur affirment que, dans l'avenir, la réussite de la conception dépendra de l'observation de la façon dont les artéfacts sont utilisés et incorporés dans les pratiques sociales actuelles (Brown, 2005).

Assurer la sécurité des données et protéger la vie privée

En 2020, il y aura, selon les estimations, plus de mille milliards de dispositifs reliés à des réseaux en exploitation. Cela représente environ un millier de connexions sans fil pour chaque habitant de la planète (ACTS, 2010). Avec l'augmentation de la quantité de données transmises, enregistrées, stockées par l'intermédiaire de multiples nœuds et intervenants, il faut s'attendre à voir proliférer les politiques, les outils, les technologies et les architectures de sécurité.

Les avantages potentiels des données et des technologies intelligentes sur le plan de la durabilité devront être pondérés en fonction des préoccupations croissantes en matière de sécurité et de confidentialité. Comme c'est souvent le cas, les progrès technologiques et commerciaux survenus sur le terrain ont largement dépassé les cadres juridiques et les normes de cybersécurité existantes (Adams, 2012; Omer et Polonetsky, 2012).

De plus en plus, l'infrastructure et la fonctionnalité des TIC permettent l'accès et le contrôle à distance. Il importe d'assurer la protection et la sécurité des données et des systèmes tout en profitant des possibilités d'utilisation des renseignements personnels fondées sur des permissions consensuelles. Les spécialistes des politiques de protection de la vie privée comme la Commissaire à l'information et à la protection de la vie privée de l'Ontario, Ann Cavoukian, affirment que la vie privée doit être intégrée dès le point de départ à la conception des systèmes

dans les initiatives de réseaux intelligents afin de se prémunir contre les menaces à la vie privée et de protéger les consommateurs. Cavoukian et ses collègues ont élaboré des principes pour la protection contre les menaces à la sécurité et à la confidentialité tout en appuyant le développement des mégadonnées et les initiatives de réseaux intelligents (Cavoukian, 2010, 2012). L'objectif de la protection intégrée de la vie privée est d'assurer la confidentialité et le contrôle individuel sur les renseignements personnels dans l'écosystème des données à caractère personnel, tout en permettant de récolter les avantages socioéconomiques des mégadonnées et des technologies intelligentes. La protection intégrée de la vie privée n'est qu'un exemple du genre de politiques auxquelles il est possible de recourir pour protéger les données.

Pratique prometteuse
La protection intégrée de la vie privée

(i) Proactif et non réactif, préventif et non correctif
- Anticiper et prévenir les invasions de la vie privée avant qu'elles n'arrivent.
- Analyser les risques de conséquences inattendues au moment de la mise en place d'un écosystème regroupant de multiples participants, politiques et technologies.

(ii) La protection de la vie privée comme règle par défaut
- S'assurer que les données personnelles soient automatiquement protégées dans tout système informatique ou dans la conduite des affaires.
- Réduire au minimum les données privées à tous les stades du cycle de vie de l'information; si des données personnelles ne sont pas requises, elles ne devraient pas être recueillies.
- Utiliser des paramètres de confidentialité intégrés, des contrôles par filtre et l'analytique pour anonymiser les données.

(iii) Protection intégrée dans la conception
- *Primauté des participants :* Les utilisateurs doivent garder le contrôle de leurs données brutes et sous-ensembles de données.
- *Lisibilité des données* : Le système doit fournir des outils de haut niveau et des conseils sur les conséquences de la collecte, du partage et de la conservation des données.
- *Engagement à long terme* : Le système devrait encourager l'engagement continu des utilisateurs au sujet de leurs préférences de partage.

suite à la page suivante

(iv) Fonctionnalité complète – exercice à somme positive, non à somme nulle
- Satisfaire tous les intérêts et objectifs légitimes dans un exercice à somme positive ou gagnant-gagnant.
- Éviter les fausses dichotomies et les compromis inutiles entre protection de la vie privée et sécurité.

(v) Sécurité de bout en bout – protection totale sur le cycle de vie
- Étendre les garanties de confidentialité tout au long du cycle de vie des données visées.
- Protéger les métadonnées, sécuriser l'infrastructure d'arrière-plan des systèmes, et s'assurer de la destruction des données personnelles.

(vi) Visibilité et transparence – maintenir l'ouverture
- *Engagement* : Les participants à l'écosystème des données à caractère personnel doivent élaborer des politiques éclairées pour protéger la vie privée et faire preuve d'une transparence significative qui démontre la capacité de respecter la vie privée.
- Exécution : Les participants devraient maintenir des normes et des contrôles internes robustes pour intégrer la protection de la vie privée dès la conception et tout au long de la mise en œuvre.
- *Assurance* : Les participants doivent assurer un suivi et une évaluation continue et apporter des correctifs en temps réel, au besoin.

(vii) Respect de la vie privée des utilisateurs – rester centré sur l'utilisateur
- Placer les intérêts, les besoins et les attentes des utilisateurs devant ceux des organisations.
- Donner aux utilisateurs la possibilité de jouer un rôle plus actif dans la gestion de leurs données personnelles.
- Améliorer la conception de l'interface utilisateur afin d'assurer des expériences efficaces, efficientes et satisfaisantes.

(Cavoukian, 2011)

5.5 PERSPECTIVES SUR LE CYCLE DE VIE

Alors que les TIC ont souvent de nombreux effets positifs attendus, tels que l'amélioration du rendement énergétique, une plus grande commodité, l'accès aux données ou la facilitation des interactions sociales, leur utilisation peut aussi avoir des conséquences inattendues ou des effets de second ordre. Dans cette section, le comité d'experts examine l'impact de ces effets inattendus et montre comment l'adoption d'une perspective sur le cycle de vie pourrait atténuer certains problèmes connexes.

5.5.1 Explorer les défis

Beaucoup de travaux sont en cours dans le but de comprendre les avantages potentiels des TIC sur le plan de la durabilité et de les évaluer en étant conscient des risques associés à leur adoption et à leur mise en place. L'impact des TIC peut parfois être surestimé. Cela est imputable, d'une part, au fait que le rôle des TIC dans la société est souvent perçu de manière trop positive et, d'autre part, à des effets de second ordre que l'on a tendance à ignorer (Wagner *et al.*, 2003). En outre, l'efficience accrue suscitée par l'utilisation des TIC peut entraîner un effet de rebond — le paradoxe de Jevons — où les gains d'efficience ont pour effet d'augmenter la consommation d'une ressource plutôt que de la réduire (Alcott, 2005). Ainsi, lorsque des gains d'efficience permettent de réduire les coûts en énergie dans un secteur à forte intensité énergétique, la plus grande partie des économies peut servir à augmenter la production, utilisant alors plus d'énergie (Maxwell et McAndrew, 2011).

Deux types d'effets de second ordre sont associés à l'utilisation des TIC :

- *Les effets directs*, comme une plus grande utilisation des voitures en raison de la plus grande efficacité des moteurs ou de la diminution des embouteillages;
- *Les effets indirects*, par exemple lorsque les gens achètent plus de biens ayant un impact sur l'environnement avec les économies réalisées grâce à des améliorations techniques et à des changements de comportement.

(Université du Sussex, 2014)

Les effets de second ordre, illustrés dans les deux exemples qui suivent, montrent l'importance de prendre en considération les préférences et les comportements des gens dans les processus de planification, de développement et d'application des TIC. Cependant, les effets de second ordre peuvent aussi avoir des répercussions positives inattendues.

Mobilité et transport : Alors qu'elle devait se traduire par des réductions dans les services de transport, la numérisation du travail, du magasinage et des loisirs a accru la demande pour différents services. À titre d'exemple, dans les cas où il est possible de travailler de la maison, les téléconférences et le télétravail contribuent à réduire les déplacements aux heures de pointe et le nombre de kilomètres domicile-travail parcourus tout en permettant un meilleur équilibre travail-famille (Bomhof *et al.*, 2009). En revanche, le télétravail peut entraîner une augmentation de la demande de matériel et de soutien liés aux TIC, d'installations de stockage de données et de serveurs, une duplication du matériel, une augmentation du chauffage et de la climatisation de la maison pour une personne seule et d'autres effets (Wagner *et al.*, 2003). De même, si l'achat en ligne peut aider à réduire les besoins de transport, la congestion et

les émissions nocives, la facilité et la commodité accrues de ce service peuvent également provoquer une augmentation des achats. Une étude de l'Université de Newcastle indique que les économies de carbone engendrées par le magasinage en ligne ne peuvent se réaliser que si les conditions sont réunies. Ainsi, l'étude soutient que les économies environnementales ne se concrétisent que lorsque les achats en ligne remplacent 3,5 déplacements, que 25 commandes sont livrées en même temps ou que la distance jusqu'à l'endroit où l'achat aurait été fait dépasse 50 kilomètres (Université de Newcastle, 2010).

Consommation accrue : Un avantage présumé de l'économie numérique est la réduction des besoins en ressources naturelles pour la fabrication des biens matériels. Il est intéressant de noter que la disponibilité d'appareils numériques a été associée à une plus grande consommation. À titre d'exemple, les systèmes de TIC devaient remplacer le papier et mener à un bureau sans papier. Les données indiquent que l'utilisation des TIC contribue à une plus grande consommation de papier en raison de la fonctionnalité et de la vitesse accrues et de la capacité d'imprimer davantage à un prix réduit (Maxwell et McAndrew, 2011). Avec l'émergence de l'informatique personnelle et d'Internet, la consommation de papier d'impression et d'écriture par habitant a augmenté de 93,6 % entre 1983 et 2003 au Canada (Sciadas, 2006).

À elles seules, les améliorations sur le plan de l'efficience ne résoudront peut-être pas les problèmes environnementaux. Reconnaître les effets de second ordre, le cas échéant, peut aider à mieux saisir cette réalité (Maxwell et McAndrew, 2011). Les effets de second ordre sont parfois difficiles à mesurer en raison du nombre de paramètres qui peuvent intervenir. Toutefois, le fait de ne pas en tenir compte peut entraver les progrès vers l'atteinte des cibles en matière d'énergie et de changement climatique (Maxwell et McAndrew, 2011). Bien que les effets de second ordre ne devraient pas empêcher la mise en œuvre d'applications des TIC à l'appui de la durabilité, ils doivent être pris en compte (et, éventuellement, attendus) au préalable. Même en tenant compte de ces effets, les meilleures possibilités offertes par les TIC auront toujours un avantage net en termes de durabilité, notamment si l'on encourage les effets de second ordre positifs de manière appropriée.

5.5.2 Pistes de solutions

Les effets de second ordre peuvent être atténués en adoptant une perspective sur le cycle de vie. Le *cycle de vie* est défini comme étant les actions liées à la fabrication, la consommation, le transport et l'élimination d'un produit (Environnement Canada, 1997). Environnement Canada définit ainsi la gestion du cycle de vie : « la réduction des charges environnementales tout au long du cycle de vie d'un produit ou d'un service » [traduction]

(Industrie Canada, 2011). La prolifération des TIC se double d'un besoin croissant pour les gouvernements et les entreprises d'élaborer et d'appliquer une analyse du cycle de vie appropriée, ainsi que des pratiques, des lignes directrices et des politiques responsables de gestion de l'élimination des produits liés aux TIC.

Des stratégies de gestion du cycle de vie sont mises en application à tous les niveaux de gouvernement au Canada. En février 2010, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada a lancé une stratégie canadienne pour les déchets électroniques dans le but d'assurer l'élimination écologiquement efficiente et sécuritaire du matériel électronique excédentaire du gouvernement fédéral. Les programmes de déchets électroniques des provinces et des municipalités contribuent aussi à promouvoir des stratégies, des politiques et des partenariats visant à synchroniser les efforts entre les entreprises et le secteur privé (TPSGC, 2013).

Un cadre durable d'analyse de l'ensemble du cycle de vie et les stratégies de gestion de fin de vie devraient tenir compte des substances entrant dans la fabrication et l'utilisation des produits, ainsi que de leur longévité et de la possibilité de les réutiliser et d'en disposer. L'Union internationale des télécommunications (UIT) insiste aussi sur la nécessité de standardiser de nombreuses méthodes d'analyse du cycle de vie, y compris l'évaluation de la réduction du CO_2 grâce à l'utilisation des TIC (UIT, 2009). Il y a un besoin de solutions axées sur les TIC pour rendre la gestion du cycle de vie de tous les produits pertinents beaucoup plus pratique, efficace et proactive, à très grande échelle, par des myriades de gens et d'organisations.

Encadré 5.4
Analyse sociale et socioéconomique du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie (ACV) peut être employée pour comprendre les effets sur l'environnement d'un produit ou d'un procédé. Les outils d'ACV guident les entreprises dans le choix des aspects de la production qui peuvent être améliorés pour atténuer son impact environnemental. L'analyse économique et sociale du cycle de vie ajoute une autre dimension à l'ACV classique en examinant les aspects sociaux et sociologiques (positifs ou négatifs) d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie. Elle fournit les renseignements nécessaires aux entreprises et aux particuliers qui souhaitent produire ou acheter de manière responsable (PNUE, 2009; Life Cycle Initiative, 2013).

5.6 CONNECTIVITÉ AU SERVICE À LARGE BANDE

L'accès aux réseaux à large bande est essentiel pour maximiser les possibilités de transformation liées aux applications des TIC dans l'optique de la durabilité — un défi majeur identifié au chapitre 4. Une connectivité transparente aux réseaux à large bande permet la dématérialisation des produits, des biens et des services, tout en offrant une plateforme pour l'innovation durable au niveau de la population. Dans cette section, le comité d'experts examine les principaux défis liés à la connectivité à large bande qui se posent au Canada à l'heure actuelle, et il explore la vision d'un monde réseauté qui laisse entrevoir comment une stratégie de service à large bande peut servir à combler les lacunes en matière de connectivité.

L'expansion du nombre de connexions entre les appareils et les gens peut favoriser l'innovation, la productivité et l'efficience. Les réseaux d'information et de communication sont utilisés de manière à favoriser la durabilité tout en réduisant les coûts d'exploitation ou ceux des services. Selon Cisco, plus de 99 % des appareils qui pourraient être reliés à un réseau (essentiellement, n'importe quel appareil renfermant un microprocesseur) ne sont pas encore connectés (Bradley *et al.*, 2013). Ces nouvelles possibilités non seulement ouvrent la porte à des applications environnementales, mais elles pourraient engendrer une valeur allant jusqu'à 14 400 milliards de $US sous forme de hausse des revenus et de réduction des coûts entre 2013 et 2022 (Bradley *al.*, 2013).

Considérons ce qui se passe actuellement dans le secteur de l'énergie avec le réseau servant à surveiller, à gérer et à réduire la consommation d'électricité à travers le réseau, dans les bureaux et à la maison. Le fait de raccorder les bâtiments et les appareils électroniques au réseau permet aux gestionnaires des bureaux et des services publics et aux consommateurs de surveiller, de gérer et de réduire leur consommation d'énergie en créant la visibilité essentielle pour comprendre comment et où l'électricité est consommée en temps réel. Le chapitre 3 examine comment les centres de données ont un rôle fondamental à jouer dans les TIC durables et sont un volet essentiel des possibilités axées sur la durabilité. Cependant, cette technologie ne peut pas être mise en place avec succès sans un réseau de télécommunications robuste fournissant un moyen rapide et fiable pour transmettre des données.

5.6.1 Explorer les défis

En termes simples, la vision d'un monde réseauté peut se résumer ainsi : si une chose peut être connectée au service haute vitesse à large bande, elle peut être intelligente — et si une chose est intelligente, elle peut aider à conduire plus rapidement l'humanité vers un monde interconnecté et caractérisé par un développement durable et des effets économiques, environnementaux et sociaux positifs.

L'Institut urbain du Canada a entrepris une étude pour évaluer le potentiel des technologies à large bande dans la perspective de faciliter l'avènement de collectivités et de régions durables en Ontario. Il est arrivé à la conclusion que « les réseaux à large bande jouent un rôle dans le développement de collectivités compactes et complètes, des systèmes de transport en commun intégrés et des réseaux d'information nécessaires pour soutenir l'emploi dans une économie axée sur le savoir et l'écologie » [traduction] (Institut urbain du Canada, 2008). Une société réseautée a un impact sur tout, allant de la distribution des services publics et de la tarification en temps réel, à la gestion des données sur le transport, aux bâtiments et à la surveillance des écosystèmes, et jusqu'aux collectivités elles-mêmes. Les utilisations appliquées aux télécommunications, par exemple au télétravail et à la télésanté, ainsi qu'au commerce électronique, à l'éducation et à la recherche, peuvent aider l'Ontario à conserver l'énergie et à réduire les émissions de GES tout en renforçant l'économie du savoir (Institut urbain du Canada, 2008).

L'accès à des vitesses de réseau dans la partie inférieure ou médiane de la bande passante (1,5 mégabit par seconde ou plus (CRTC, 2011b)) est insuffisante pour de nombreuses applications commerciales et publiques, telles que les vidéoconférences multipoints, le téléchargement de vidéos à haute définition, les sauvegardes de serveurs (d'une capacité de 1 téraoctet) et le télétravail (Columbia Telecommunications Corporation, 2010). En outre, le Canada accuse encore un écart de connectivité numérique pour les services offerts dans les régions rurales par rapport aux régions urbaines (voir le chapitre 3). Selon un rapport publié par le Conseil de la radiodiffusion et des télécommunications canadiennes (CRTC), alors qu'environ 95 % des grandes agglomérations ont accès à des vitesses de téléchargement comprises entre 30 et 49,9 mégabits par seconde, la proportion chute à environ 20 % dans les zones rurales (CRTC, 2012).

En regardant vers l'an 2020 et au-delà, la liste croissante des applications en ligne prévisibles nécessitera une capacité de transfert de données beaucoup plus grande (Columbia Telecommunications Corporation, 2010). Si aucune mesure n'est prise pour améliorer la connectivité en région rurale, le fossé numérique urbain-rural pourrait se creuser. Le CRTC a établi comme objectif de fournir à tous les Canadiens, d'ici la fin de 2015, des vitesses de téléchargement en aval de 5 mégabits par seconde, et de téléchargement en amont de 1 mégabit par seconde, grâce à une variété de technologies (CRTC, 2011b). Cependant, pour être en mesure de soutenir toutes les possibilités décrites dans le présent rapport, le réseau à large bande pourrait nécessiter une mise à niveau répondant à des exigences beaucoup plus élevées. Ainsi, pour soutenir un nombre exponentiel de capteurs et d'objets réseautés tout en conservant un temps de latence court (1 milliseconde), le réseau devra supporter des vitesses supérieures de

communication sans fil (plus de 10 gigabits par seconde) (Fettweis, 2012). En outre, le développement de nuages verts dépend directement de la disponibilité de connexions à large bande rapides et fiables.

5.6.2 Pistes de solutions

Des pays comparables au Canada en termes de population et de topographie ont commencé à mettre en œuvre des stratégies nationales pour le service à large bande. Ainsi, le gouvernement de l'Australie a mis en place un réseau national à large bande dans le but de devenir l'une des principales économies numériques au monde d'ici 2020. Son plan est de déployer un réseau ouvert accessible à tous les citoyens, les fournisseurs de services et une foule d'applications. Malgré une géographie et une population différentes, le gouvernement allemand a élaboré une stratégie pour mettre l'accent sur l'amélioration de l'accessibilité d'un réseau à haute performance.

Pratique prometteuse

Les stratégies nationales à large bande de l'Australie et de l'Allemagne

Le gouvernement australien s'est donné comme objectif de devenir l'une des principales économies numériques dans le monde d'ici à 2020 (Gouvernement de l'Australie, 2013). Une initiative clé de la National Digital Economy Strategy de l'Australie est la mise en place d'un réseau national à large bande qui, selon le gouvernement, sera un « réseau à large bande à accès ouvert offrant des conditions équivalentes à tous les demandeurs d'accès ou fournisseurs de services » [traduction]. Ce réseau offrira l'accès au réseau à tous les foyers australiens : 93 % par fibre (à une vitesse de 1 gigabit par seconde), et le reste par la technologie sans fil fixe et par satellite (à des vitesses de téléchargement allant jusqu'à 25 mégabits par seconde). L'Australian Communications and Media Authority reconnaît qu'une attribution plus efficiente et plus efficace du spectre sera nécessaire pour répondre à la demande croissante de données mobiles sans fil. Le spectre du dividende numérique a été optimisé pour le service mobile à large bande et deviendra accessible en janvier 2015 (Gouvernement de l'Australie, 2013).

De concert avec les États fédéraux, des localités et l'industrie, le gouvernement fédéral allemand prévoit investir massivement dans son réseau à large bande afin de fournir une infrastructure fiable pour les services à large bande considérés comme ayant une grande rentabilité économique, notamment le gouvernement en ligne, la santé en ligne, et l'apprentissage en ligne. L'Allemagne a établi la fin de 2010 comme date butoir pour l'élimination des écarts dans la pénétration et l'accessibilité du service

suite à la page suivante

à large bande (BMWi, 2009). Un sous-objectif est, pour au moins les trois quarts de la population, que les réseaux disponibles donnent accès à des débits d'au moins 50 mégabits par seconde d'ici la fin de 2014 (BMWi, 2010). Les initiatives clés élaborées pour atteindre ces objectifs prévoient notamment de capitaliser sur les synergies inhérentes à la construction des infrastructures, de formuler des règlements qui favorisent l'investissement et la croissance et d'assurer un soutien financier suffisant.

L'Australie et l'Allemagne ciblent des vitesses qui sont au moins 5 à 10 fois plus rapides que celles envisagées par le CRTC. Pour l'avenir, le Canada doit se demander si la vitesse cible du réseau dans tout le pays, soit 5 mégabits par seconde d'ici à 2015, lui permettra de demeurer concurrentiel dans l'économie numérique ou sera suffisante pour concrétiser les avantages des possibilités liées aux TIC sur le plan de la durabilité.

5.7 CONCLUSION : UNE APPROCHE INTÉGRÉE DES SOLUTIONS

L'intégration transparente et l'interconnectivité des personnes, des données et des choses permettent des niveaux d'échange et d'analyse de l'information sans précédent, et facilitent l'élaboration de réponses plus variées et innovantes aux défis de la durabilité que le Canada doit surmonter. Le comité d'experts a mis en évidence de nombreuses possibilités liées aux TIC qui pourraient aider à transformer certains secteurs traditionnels de l'économie canadienne, tels que l'énergie, les transports et le bâtiment. Il a attiré l'attention sur des technologies transformatrices qui seraient bénéfiques pour l'environnement tout en haussant la productivité et la compétitivité et en améliorant le bien-être des collectivités. Cependant, pour réaliser les avantages des possibilités liées aux TIC sur le plan de la durabilité, les défis qui se dressent dans divers domaines doivent être compris : les déficiences du marché et les barrières commerciales; les normes et l'accessibilité des données; la littéracie numérique et informatique; l'accès à une main-d'œuvre talentueuse et compétente en TIC; les normes culturelles, sociales et commerciales; la sécurité et la confidentialité; les effets de second ordre; et enfin, l'accès au réseau à large bande. Le comité d'experts a présenté diverses pistes de solutions pour relever ces défis. Celles-ci peuvent se résumer comme suit :

- Soutenir la création et/ou l'exploitation continue d'installations de démonstration (laboratoires vivants) pour éventuellement atténuer le risque et l'incertitude associés au recours à des solutions à haut risque ou non éprouvées.
- Faciliter l'adoption des TIC dans les entreprises et l'industrie pourrait nécessiter le recours à des instruments de politique tels que les achats publics pour accroître la demande et corriger les déficiences du marché;

- Améliorer la normalisation et l'accessibilité des données en vue de faciliter l'interopérabilité;
- Développer des processus qui concourent à l'accessibilité et à la facilité d'utilisation des données afin d'offrir une plus grande souplesse dans la gestion des applications et la réduction des coûts;
- Mettre en œuvre des approches telles que la protection intégrée de la vie privée pour assurer la confidentialité et le contrôle individuel sur les renseignements personnels dans l'écosystème des données à caractère personnel, tout en favorisant les avantages socioéconomiques des mégadonnées et des technologies intelligentes;
- Promouvoir la littéracie numérique et informatique pour permettre au Canada de demeurer concurrentiel dans l'univers numérique en évolution rapide;
- Adopter une perspective axée sur le cycle de vie ou le cycle de vie social pour aider à repérer et à atténuer les effets de second ordre pouvant découler de l'exploitation des possibilités liées aux TIC;
- Combler les écarts de connectivité pour maintenir la compétitivité du Canada par rapport aux autres pays avancés en matière d'accessibilité et de disponibilité du service à large bande.

Le comité d'experts est conscient que l'identification de ces défis et l'élaboration de solutions tactiques au cas par cas pourraient limiter le potentiel de transformation de possibilités durables reposant sur les TIC. Au contraire, une approche intégrée devrait être considérée. Une telle approche constitue une première étape dans la planification d'un monde où les gens, les données et les choses seront connectés dans une mesure sans précédent. Cette interconnectivité offre des possibilités susceptibles d'avoir des effets positifs sur l'environnement, de promouvoir une croissance économique durable, de créer de nouveaux emplois et d'apporter des avantages sociaux au Canada. Une telle approche aborderait de manière intégrée les divers défis examinés dans le rapport, tel qu'illustré à la figure 5.2.

Dans une approche intégrée, un mode de vie durable et l'évolution vers une économie verte seraient considérés comme un défi qui comporte de multiples facettes et qui nécessite une vaste gamme de réponses provenant de tout un éventail d'intervenants. Cette approche envisagerait des réponses coordonnées mais variées aux problèmes de durabilité. Celles-ci pourraient inclure des mesures incitatives, la réglementation, la prise de décision partagée et l'engagement des parties concernées, en reconnaissant les liens à la fois uniques et communs entre l'ensemble des acteurs. L'approche préconisée fournit une plateforme de solutions communes, qui peuvent avoir un impact plus efficace et durable.

Une bonne compréhension de tous ces facteurs jettera un meilleur éclairage sur les rapports interdépendants entre la nature, la technologie et la société, et le besoin d'adopter une approche intégrée de la durabilité.

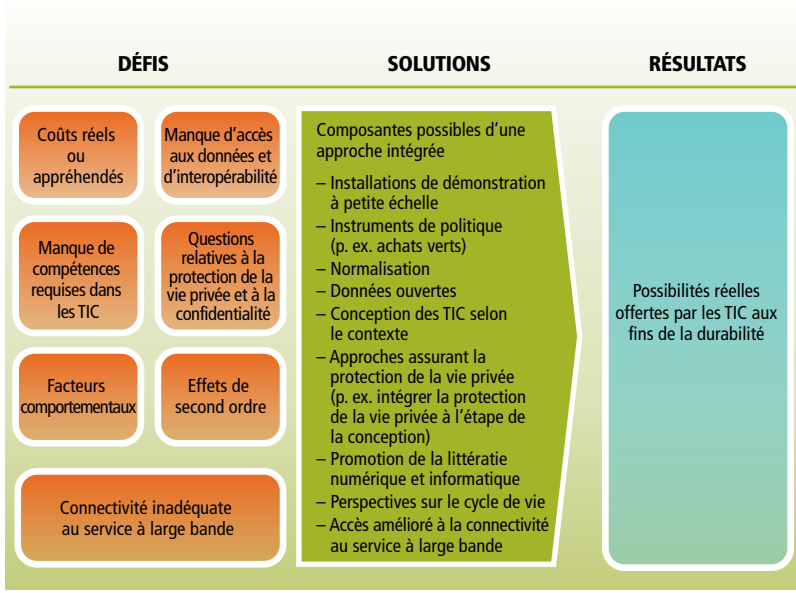


Figure 5.2
Une approche intégrée pour s'attaquer aux défis de la durabilité au moyen des TIC

6

Conclusions

- Répondre au mandat
- La voie à suivre
- Observations finales

6 Conclusions

Les systèmes de TIC ont eu et continuent d'avoir de profonds effets sur les gens et leurs communautés. Ils sont aujourd'hui omniprésents dans toutes les facettes de la vie des Canadiens, transformant la façon dont ils vivent, travaillent, se divertissent, apprennent, partagent et interagissent à un rythme sans précédent dans le contexte historique de l'évolution de la technologie. La promesse et le potentiel des TIC et de leurs applications ouvrent de nouvelles pistes pour étendre l'accès à l'information, engendrer des avantages économiques et améliorer la performance environnementale du Canada.

Ce chapitre synthétise la preuve et les observations présentées dans les chapitres précédents, en résumant les réponses du comité d'experts au mandat qu'il a reçu. Avec un œil sur l'avenir, le comité examine certains éléments clés qui pourraient permettre au Canada d'utiliser stratégiquement les TIC en vue d'atteindre la durabilité.

6.1 RÉPONDRE AU MANDAT

Quelles occasions existantes ou potentielles nous permettraient d'exploiter les technologies de l'information et des communications (les TIC) de sorte à écologiser le Canada?

- *Quels sont les possibilités, les obstacles et les défis, au Canada et à l'étranger, liés à l'utilisation des progrès scientifiques et technologiques actuels et émergents pour favoriser l'écologisation?*
- *Quels sont les écarts dans les connaissances et les meilleures pratiques pour l'élaboration et l'application de technologies vertes fondées sur les TIC au Canada?*

La question principale du mandat et deux des quatre sous-questions (énumérées ci-dessus) mettent l'accent sur les possibilités offertes par les TIC au Canada et les défis à surmonter pour en récolter les bienfaits. Le comité d'experts a choisi d'interpréter les « écarts dans les connaissances et les meilleures pratiques » comme étant des défis de cette nature. Le commanditaire a convenu de l'interprétation faite par le comité d'experts, soit d'orienter l'évaluation vers les possibilités qui laissent entrevoir des avantages économiques, sociaux et environnementaux, englobant les trois piliers qui sous-tendent la notion de durabilité. Pour aborder ces questions particulières, l'approche du comité d'experts a d'abord consisté à identifier les principales composantes et caractéristiques des technologies qui peuvent servir à promouvoir la durabilité environnementale, économique et sociale. Le comité a ensuite répertorié les possibilités pertinentes pour le Canada et leurs avantages potentiels, et il a articulé certains défis communs. Enfin, le comité d'experts a exploré les pistes de solutions possibles pour aider à atténuer ou à surmonter ces défis.

Dans le but de rendre son rapport plus accessible, le comité d'experts a pris soin d'insister sur la façon dont les TIC pourraient avoir un impact positif sur la vie quotidienne des Canadiens. Ainsi, il a exploré six grands domaines thématiques où les TIC ont déjà démontré qu'elles peuvent produire des avantages environnementaux, économiques et sociaux, et auxquels les gens, les gouvernements et le secteur privé sont en mesure de s'identifier : la *surveillance de l'environnement, les services publics intelligents interconnectés, les bâtiments et les voisinages intelligents interconnectés, la mobilité intelligente interconnectée, la production intelligente interconnectée,* et *des personnes en santé et des collectivités dynamiques.*

Dans l'ensemble, le comité d'experts est arrivé à la conclusion qu'il y avait des possibilités considérables de promouvoir et d'appuyer la durabilité en ayant recours aux TIC pour mettre à profit les forces et les capacités actuelles du Canada. Ces possibilités varient de changements à petite échelle, comme les applications qui renseignent les gens sur leur consommation d'eau, à des changements de vaste portée, par exemple le remplacement de réseaux de services publics vieillissants par des technologies de réseaux intelligents. Les applications nouvelles et émergentes des TIC peuvent servir à influencer la façon dont les décisions sont prises au plus haut niveau, comme lorsque des mégadonnées sont employées pour cartographier l'utilisation de l'électricité de manière à éclairer les décisions ayant trait à la consommation d'énergie.

En raison de la richesse et de l'étendue des possibilités qu'il a répertoriées (chapitre 4), le comité d'experts a jugé qu'il ne serait pas utile d'élaborer un quelconque classement définitif. Dans une situation donnée, le choix des possibilités liées aux TIC les plus pertinentes sera fonction du contexte local et des objectifs visés. Par exemple, si les gouvernements cherchent à mieux comprendre l'état actuel de l'environnement de manière à approfondir les connaissances, à faire respecter la réglementation environnementale ou à mesurer l'efficacité des initiatives destinées à améliorer la qualité du milieu, de nouveaux réseaux de capteurs qui surveillent à distance l'environnement de manière fiable et continue seraient nécessaires. Si l'objectif visé est d'améliorer l'efficience du réseau électrique et d'assurer une meilleure intégration des sources d'énergie renouvelables, des technologies de réseaux intelligents seraient essentielles. La meilleure façon d'utiliser les TIC pour atteindre des objectifs sociaux, tels que faciliter une participation active à la vie publique, est peut-être de donner aux citoyens un moyen de communiquer avec les autorités publiques et d'avoir accès aux données gouvernementales.

Cependant, le comité d'experts a constaté que l'immense potentiel que recèlent ces technologies pour favoriser la durabilité n'est pas mis à profit actuellement au Canada. En analysant le catalogue des possibilités liées aux TIC qu'il a constitué, le comité d'experts a repéré certains défis communs :

- les coûts réels ou appréhendés de la mise en œuvre de la technologie et de l'infrastructure correspondante;
- le manque d'accès aux données et d'interopérabilité;
- le manque de compétences nécessaires dans les TIC;
- les questions relatives à la protection de la vie privée et à la sécurité;
- les facteurs comportementaux;
- les effets de second ordre;
- la connectivité inadéquate au service à large bande dans les régions rurales.

Un examen plus attentif de ces défis fait ressortir certains problèmes connexes de nature plus spécifique : une asymétrie possible sur le marché du travail canadien entre les compétences recherchées par les employeurs et celles que possèdent les personnes à la recherche d'un emploi; des difficultés inhérentes au passage d'une utilisation à petite échelle par un nombre limité d'utilisateurs au déploiement à une échelle beaucoup plus grande; enfin, des contraintes posées par des systèmes de données fragmentés.

Le comité d'experts a également constaté qu'une approche intégrée serait utile pour définir et résoudre les défis qui se posent et élaborer des solutions. Cibler individuellement des défis et des solutions risquerait de limiter le potentiel transformateur des technologies durables associées aux TIC.

Libérer le potentiel des possibilités liées aux TIC, comprendre la diversité des problèmes et ensuite élaborer des pistes de solutions possibles est une tâche difficile. Les solutions possibles pour progresser vers la durabilité requièrent la conception, la sélection et la mise en œuvre rapides et réussies d'applications des TIC efficaces et adaptées au contexte. L'utilisation des TIC pour atteindre ces objectifs obligera les décideurs à tenir compte de questions allant au-delà de celles liées à la technologie, comme les facteurs sociaux et économiques. À cet égard, le comité d'experts a présenté une série d'options pour des solutions qui aideraient à relever ces défis et à réaliser le potentiel des possibilités issues des TIC. Celles-ci peuvent se résumer comme suit :

- **Des installations de démonstration à petite échelle** pour limiter éventuellement le risque et l'incertitude inhérents aux solutions non éprouvées ou comportant un risque élevé (p. ex. les laboratoires vivants);
- **Des instruments de politique** visant à accroître la demande et à résoudre les déficiences du marché (p. ex. les achats verts);
- **L'amélioration des normes** en vue de promouvoir l'interopérabilité;

- **L'accessibilité des données** pour favoriser une gestion plus souple des applications et s'assurer que les données soient ouvertes et accessibles pour une utilisation plus large;
- **Une meilleure conception des TIC et des approches axées sur la protection de la vie privée** pour assurer l'adoption, la confidentialité et la sécurité, et donner aux gens un contrôle sur leurs renseignements personnels, tout en facilitant l'exploitation des avantages socioéconomiques des mégadonnées et des technologies intelligentes (p. ex. la protection intégrée de la vie privée);
- **L'amélioration de la littératie numérique et informatique** pour positionner le Canada comme un acteur concurrentiel dans l'univers numérique en évolution rapide;
- **Une perspective axée sur le cycle de vie ou le cycle de vie social** pour aider à déterminer les effets de second ordre de l'exploitation des possibilités offertes par les TIC;
- **Combler les écarts au niveau de la connectivité** afin de maintenir la compétitivité internationale du Canada en matière d'accès et de disponibilité du service à large bande.

Le potentiel de transformation des innovations liées aux TIC dépend de l'interaction entre les déterminants commerciaux, réglementaires et humains, parallèlement au développement et au déploiement de technologies. Le comité d'experts a noté que le simple fait d'ajouter plus de technologie, de réglementation ou d'argent ne résoudra pas les problèmes de durabilité qui s'annoncent. Ce qu'il faut, ce sont de meilleures stratégies qui respectent les défis posés par la durabilité et qui misent sur les principaux atouts pour bâtir une société à la fois plus résiliente et plus souple.

Le mandat du comité comprenait deux sous-questions supplémentaires, qui n'étaient pas directement liées à l'examen et à l'analyse des possibilités, des défis et des solutions. Les réponses à ces sous-questions sont résumées brièvement dans ce qui suit, mais elles sont aussi abordées à divers points dans le rapport.

Quelle est la capacité du Canada dans le secteur des technologies vertes fondées sur les TIC et quels sont les domaines où les Canadiens montrent à l'heure actuelle des points forts et des faiblesses dans les segments les plus pertinents de l'économie?

Parmi les nombreuses dimensions pertinentes de la capacité du Canada de développer, de mettre en œuvre et d'exploiter les possibilités offertes par les TIC, le comité d'experts s'est intéressé plus particulièrement à trois d'entre elles dans le contexte de la présente évaluation :

L'adoption de technologies : De façon générale, le Canada est une société bien connectée où les gens et les entreprises adoptent des appareils personnels issus des TIC tels que les téléphones intelligents et les tablettes. Cependant, il y a encore place à l'amélioration. Comparativement à d'autres pays similaires, le Canada arrive loin au classement pour ce qui est de la pénétration et de la diffusion des TIC parmi la population, et de la capacité des entreprises d'adopter des technologies. Les données montrent aussi que les entreprises canadiennes tirent généralement de l'arrière sur celles d'autres pays comparables pour l'investissement dans les TIC.

L'infrastructure matérielle et de recherche : Le Canada a fait preuve de leadership dans le développement de certaines infrastructures comme le réseau de capteurs océaniques NEPTUNE et le réseau de recherche et d'innovation CANARIE, qui exploitent avec succès les TIC pour la recherche et la production de connaissances. Le Canada profite également du fait que certains établissements d'enseignement supérieur sont des chefs de file de la recherche sur les TIC, ainsi que d'un secteur des TIC reconnu pour son dynamisme en recherche et en développement industriels. Malgré ces atouts, la qualité de l'accès au service à large bande varie considérablement à travers le pays même si presque tous les Canadiens y ont accès.

Les compétences : Il est difficile d'évaluer la capacité de Canada au chapitre des compétences requises pour développer, adopter et exploiter pleinement les possibilités offertes par les TIC. Un avantage important est la force du Canada en recherche sur les TIC. Cependant, une situation qui n'est pas unique au Canada est l'asymétrie possible entre les compétences requises pour exploiter pleinement les possibilités offertes par les TIC, examinées dans le présent rapport, et les compétences actuelles de la population active.

Quelles sont les meilleures pratiques au niveau international, y compris les cadres de politique, sur l'utilisation de la science et de la technologie (S-T) liée aux TIC pour « écologiser » la prestation des biens et services et les infrastructures connexes dont la société a besoin?

Le comité d'experts a observé de nombreux exemples de pratiques prometteuses à l'étranger et au Canada qui ont été mis en évidence dans les encadrés orangés — *Pratiques prometteuses* — tout au long du rapport. Elles comprennent des pratiques ciblées visant à profiter des TIC à des fins spécifiques, comme les normes de conception et les aides favorisant l'efficience énergétique des bâtiments. Elles portent également sur des politiques ou des approches de plus vaste portée qui pourraient éventuellement aider le Canada à relever les

défis les plus importants qui entravent les possibilités offertes par les TIC. Voici certains des exemples mis en relief : Technologies du développement durable du Canada, une organisation qui pourrait aider à faire le pont entre la recherche et la commercialisation; les principes de la protection intégrée de la vie privée, un genre de politique qui prend en compte les préoccupations relatives à la vie privée; les politiques de l'Allemagne et de l'Australie en matière de service à large bande, qui sont des programmes nationaux visant à combler les écarts au chapitre de la connectivité.

6.2 LA VOIE À SUIVRE

Au fil de ses activités de collecte de données et de ses délibérations et à la lumière de son expérience collective, le comité d'experts a retenu cinq éléments clés qui pourraient permettre au Canada d'utiliser de façon stratégique les TIC pour parvenir à la durabilité.

- Repenser les TIC;
- Connecter les Canadiens;
- Habiliter les gens, les gouvernements et les entreprises;
- Créer de nouvelles formes d'organisation sociale;
- Surmonter les difficultés législatives, comportementales, technologiques et financières.

6.2.1 Repenser les TIC

L'intégration transparente d'éléments technologiques individuels dans des systèmes intelligents interconnectés est nécessaire pour exploiter la pleine capacité de transformation des TIC. Le comité d'experts a identifié cinq composantes techniques interdépendantes qui ressortent comme étant essentielles pour les applications des TIC décrites dans le présent rapport : i) les appareils destinés à l'utilisateur final; ii) les données; iii) les applications et l'analytique de données; iv) les télécommunications, le stockage et l'infrastructure de traitement; v) les capteurs et les systèmes de contrôle. Individuellement, l'application de ces composantes peut apporter d'importants avantages environnementaux et socioéconomiques. Toutefois, le plus grand impact proviendra de solutions intégrées tirant parti de l'ensemble de ces composantes. À titre d'exemple, un réseau de capteurs de surveillance à haute capacité engendrera le plus d'avantages s'il est relié à un réseau de télécommunications pouvant transmettre des données environnementales vers le nuage à des fins de stockage et d'analyse. En outre, l'impact sera amplifié si le réseau de capteurs fait partie d'un système qui permet à des appareils destinés à l'utilisateur final munis des applications pertinentes d'accéder aux données et de les utiliser en temps réel.

Les TIC sont des éléments des solutions interconnectées qui englobent les dimensions sociales, politiques et institutionnelles. Ces facteurs sont visibles dans la manière dont les TIC sont actuellement intégrées à tous les aspects de la vie quotidienne — affectant la façon dont les gens communiquent, travaillent et passent leurs temps libres, et la façon dont les gouvernements, les entreprises et les particuliers prennent des décisions. La gestion de ces systèmes sociotechniques remet en question à la fois la tendance à considérer les technologies comme des objets isolés de leur contexte et l'approche classique axée sur le contrôle en matière de gouvernance technologique. La mise en œuvre d'une application des TIC est plus susceptible de réussir et de contribuer à la durabilité si la planification part d'une vision intégrée de l'ensemble de ces dimensions, en plus du contexte local.

La fabrication et l'exploitation des TIC ont elles-mêmes des effets nocifs sur l'environnement qu'il importe de réduire au minimum. Une occasion de premier plan qui s'offre au Canada serait une écologisation de la technologie englobant un mouvement vers une plus grande utilisation des centres de données. Le Canada jouit d'un approvisionnement stable en électricité ne produisant pas d'émissions nocives qui pourrait servir à alimenter des dépôts de données énergivores; le pays a aussi un climat froid qui réduirait les besoins en énergie des systèmes de climatisation. L'approvisionnement de ces centres en électricité dans les régions qui possèdent de tels attributs et la possibilité de profiter d'une concentration de ces installations pour fournir de la chaleur aux systèmes d'énergies locaux auraient un impact positif sur l'environnement, en plus de procurer des avantages économiques et sociaux au Canada.

6.2.2 Connecter les Canadiens

Le Canada accuse encore un écart de connectivité numérique entre les services fournis aux collectivités urbaines et rurales. Même si presque tous les Canadiens ont accès au service Internet à large bande, la vitesse disponible varie sensiblement parmi les régions. Les gens qui vivent dans les centres urbains ont accès à un service à large bande à haut débit fiable, mais ceux des régions plus rurales n'ont pas accès aux vitesses requises pour profiter pleinement des nombreuses applications des TIC. Les approches adoptées dans d'autres pays, comme en Australie et en Allemagne, pourraient fournir un modèle au Canada en vue de combler cet écart.

Les Canadiens comptent également sur des branchements fiables aux services publics comme l'électricité, l'eau et le gaz. Cependant, l'infrastructure qui fournit ces services a, dans bien des cas, besoin de réparations ou d'une mise à niveau importante. Les applications de réseaux intelligents des TIC pourraient offrir un moyen d'en arriver à des services publics intelligents interconnectés qui

améliorent l'efficience, la robustesse et la résilience du système de distribution. L'avènement des réseaux intelligents pourrait transformer la façon dont les services publics sont produits et fournis partout au Canada — en réduisant au minimum les effets sur l'environnement, notamment les pertes d'eau et d'électricité dans le transport, en abaissant les coûts pour les exploitants et les consommateurs, et en assurant la fiabilité du service.

Des réseaux de capteurs fiables reliant les Canadiens à leur environnement ont également leur importance dans l'optique de la durabilité. Ces réseaux permettent d'accéder en temps opportun à des renseignements précis sur la salubrité de l'environnement et la façon dont il évolue avec le temps. Les données de surveillance de l'environnement sont utilisées dans la prise de décision. Améliorer la précision et la portée de cette information permettrait aux gouvernements et aux entreprises de prendre des décisions reposant davantage sur des données probantes dans l'avenir. En outre, les données de surveillance de l'environnement appuient l'application de la réglementation, permettent la détection précoce des problèmes et peuvent être jumelées à d'autres données, comme celles qui ont trait à la santé, pour fournir des renseignements supplémentaires.

Un autre grand avantage des TIC est leur capacité à resserrer les liens entre les particuliers et les entreprises, et entre les Canadiens et les biens et services qu'ils utilisent. Grâce à des applications qui accroissent l'efficience des systèmes de transport et de logistique, tels ceux qui améliorent les systèmes de transport en commun ou qui soutiennent la logistique intelligente interconnectée, les TIC peuvent faciliter les déplacements des biens et des personnes tout en réduisant simultanément au minimum les coûts, les déchets et les émissions atmosphériques nocives, y compris les émissions de GES.

6.2.3 Habileter les gens, les gouvernements et les entreprises

La technologie ne peut, à elle seule, faire progresser le Canada sur la voie de la durabilité. Les avantages liés aux possibilités offertes par les TIC qui sont examinées dans ce rapport se concrétiseront lorsque les utilisateurs se mettront à les adopter et à les exploiter. Les utilisateurs peuvent découvrir des façons inédites d'appliquer des technologies et d'utiliser les données qu'elles produisent, engendrant souvent des avantages supplémentaires non anticipés. Il est donc essentiel de s'assurer que les données soient accessibles. Ouvrir l'accès aux données pourrait également créer des occasions de collaboration susceptibles de mener à l'élaboration de solutions transformatrices. La plupart des gouvernements et des organisations reconnaissent l'importance des données ouvertes et prennent de plus en plus des mesures pour rendre leurs données publiquement disponibles.

Dans bien des cas, les principaux avantages de la durabilité proviennent des capacités que les TIC mettent à la portée des utilisateurs. Les technologies peuvent établir des liens entre de nombreux aspects de la vie et permettre aux gens de jouer un rôle plus actif dans la gestion de la vie courante en leur donnant l'information dont ils ont besoin et une plateforme pour réagir à cette information. Les TIC peuvent fournir aux personnes, aux gouvernements et aux entreprises les renseignements nécessaires pour gérer plus efficacement les ressources — de la gestion de la consommation d'électricité à la maison grâce à des applications de réseaux intelligents, à l'utilisation de capteurs pour détecter les fuites dans le système de distribution d'eau, au soutien à des activités entrepreneuriales en vue d'exploiter de nouvelles occasions d'affaires, jusqu'à l'atténuation des effets de l'extraction des ressources par la modélisation informatique. En outre, les TIC peuvent permettre aux gens d'accéder à de nouvelles possibilités éducatives et à des soins de santé plus efficients et efficaces.

6.2.4 Créer de nouvelles formes d'organisation sociale

En permettant la construction de bâtiments intelligents, en les connectant les uns aux autres et à un réseau intelligent, et en facilitant une planification communautaire informée, les TIC peuvent contribuer à bâtir des collectivités connectées et durables. Tout comme une communauté ne se résume pas à un simple regroupement de personnes, d'entreprises et de bâtiments qui coexistent dans le même espace géographique, un bâtiment représente plus que les matériaux qui composent sa structure. Les bâtiments ont un impact significatif sur l'environnement, notamment en termes de consommation d'électricité et d'émissions de GES. Les TIC ont déjà été utilisées pour améliorer le rendement électrique des bâtiments et de nouvelles avancées sont possibles en vue de réduire l'empreinte écologique du milieu bâti — de la conception jusqu'à l'exploitation. Les bâtiments intelligents interconnectés peuvent communiquer entre eux et avec d'autres objets intelligents, (comme les voitures électriques). Ils ont également la possibilité de s'intégrer à un réseau intelligent grâce à des technologies solaires ou éoliennes. En outre, les applications des TIC peuvent améliorer la sécurité des bâtiments, maximiser le confort de leurs occupants et réduire les coûts d'exploitation.

L'évolution vers des services et des fonctions intégrés et interconnectés — des réseaux de bâtiments et d'infrastructures à l'échelle du voisinage — est une évolution importante à cet égard. Des systèmes locaux intégrés pour l'énergie, l'eau et les déchets pourraient permettre d'offrir des services plus efficients sur les plans économique et environnemental. Le processus de fabrication, y compris la livraison des biens, est aussi un système complexe qui pourrait

faire un usage stratégique des TIC pour améliorer son efficacité et passer à un modèle de production intelligente interconnectée. L'application des TIC en vue d'améliorer l'efficacité du matériel de fabrication (p. ex. les moteurs intelligents) et de perfectionner la planification des processus permettrait de réduire les émissions de GES provenant des procédés de fabrication tout en abaissant les coûts opérationnels. De plus, la logistique intelligente interconnectée des chaînes d'approvisionnement, rendue possible par les TIC, permettrait d'améliorer l'efficacité de la livraison des marchandises, menant à une réduction des émissions atmosphériques nocives (dont les émissions de GES) et des coûts d'exploitation, tout en facilitant l'expédition des produits vers le marché. La même chose est vraie pour la production et la livraison des produits agricoles, où les TIC pourraient améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans les exploitations agricoles, notamment en irrigation, et changer la façon dont les aliments sont acheminés du producteur au consommateur. Enfin, les TIC peuvent faciliter de nouvelles formes de prise de décision et de gouvernance participative, et améliorer la prestation des soins de santé, les services éducatifs et la résilience des collectivités. Celles-ci seront par ailleurs mieux outillées pour faire face aux défis environnementaux et apporter les solutions requises.

6.2.5 Surmonter les difficultés législatives, comportementales, technologiques et financières

Le comité d'experts a cerné plusieurs obstacles législatifs, comportementaux, technologiques et financiers qui risquent d'entraver la mise en œuvre des applications innovantes des TIC, ainsi que des outils et des approches qui pourraient aider à les surmonter. Bien qu'il n'y ait pas de solution unique convenant à toutes les applications des TIC et à toutes les sphères de compétence, le comité d'experts a mis en évidence certaines options et considérations pertinentes :

- Encourager la collaboration grâce à des données et des normes ouvertes et des protocoles ouverts. L'absence de normes et la coopération insuffisante entre les gouvernements peut entraver le développement et l'exploitation des nouvelles possibilités liées aux TIC, limiter l'accès aux données et rendre difficile pour les gouvernements d'appliquer (ou de déployer) des solutions efficaces ou de tirer les leçons des expériences passées des autres. Cependant, l'ouverture des données n'est qu'une étape. Même s'il est possible de localiser les données, le manque de normalisation entre les ensembles de données peut limiter leur utilité parce que les autres usagers ne peuvent interpréter un ensemble de données particulier.
- S'assurer que les données privées soient protégées et que les applications soient sécurisées grâce à l'élaboration de technologies conviviales et à des initiatives telles que des mesures de protection intégrée de la vie privée. Il est important de faire connaître ces mesures de protection : les utilisateurs

qui se soucient de la protection des données personnelles seront moins enclins à adopter une technologie, même si des critères de confidentialité et de sécurité ont été respectés.

- Utiliser la planification à long terme et une perspective axée sur le cycle de vie ou le cycle de vie social pour aider à déterminer et à atténuer les effets de second ordre pouvant découler de la mise en œuvre des applications des TIC. Cela est important pour s'assurer que les avantages prévus se concrétisent, parce que des effets non souhaités peuvent annuler certains des changements positifs obtenus (p. ex. plus de gens prenant le volant en raison d'une diminution des embouteillages).
- Étudier et utiliser une gamme d'instruments de politique, y compris les marchés publics, pour surmonter les obstacles économiques, qui peuvent aussi agir comme un frein à l'adoption ou au développement des applications des TIC par les entreprises, les gouvernements ou les particuliers. En outre, des installations de démonstration à petite échelle, comme les laboratoires vivants, peuvent offrir un cadre expérimental où utilisateurs et producteurs collaboreront à la création et à la validation d'innovations, permettant de quantifier avec précision et de démontrer les avantages des applications liées aux TIC.
- Promouvoir la littéracie numérique et informatique dans l'enseignement et la formation des gens afin qu'ils acquièrent les aptitudes techniques nécessaires pour adopter, utiliser et développer davantage les applications des TIC. Cela peut débuter à l'école primaire et se poursuivre jusqu'au cycle universitaire supérieur.

6.3 OBSERVATIONS FINALES

Les TIC sont plus que de simples gadgets servant à divertir les gens. Elles représentent les dispositifs, les systèmes et les plateformes qui ont transformé la façon dont les gens vivent, travaillent et communiquent entre eux. Les applications des TIC interconnectées ont le potentiel de jouer un rôle clé dans la quête de la durabilité. Afin d'exploiter les occasions qui s'offrent de créer des débouchés économiques substantiels et de solutionner des problèmes environnementaux et sociaux urgents, le Canada doit miser sur ses forces et ses capacités. Les avantages que pourraient offrir les TIC sur le plan de la durabilité sont à la portée du Canada s'il parvient à *repenser* les TIC, à *connecter* et à *habiliter* les Canadiens, à *créer* de nouvelles formes d'organisation sociale et à *surmonter* les défis en présence.

Glossaire

Glossaire

Aux fins du présent rapport, la démarche du comité d'experts a été guidée par les définitions suivantes :

Capteur : Les capteurs mesurent une quantité physique (p. ex. la température, la pression) et la convertissent en signal électrique. Ils assurent une gamme étendue de fonctions, de la surveillance environnementale au comptage pour les services publics d'énergie.

Durabilité : La *Loi fédérale sur le développement durable* définit ainsi la *durabilité* : « Le gouvernement du Canada souscrit au principe fondamental selon lequel le développement durable est fondé sur l'utilisation écologiquement rationnelle des ressources naturelles, sociales et économiques et reconnaît la nécessité de prendre ses décisions en tenant compte des facteurs environnementaux, économiques et sociaux » (Ministre de la Justice, 2013a). Aux fins de la présente évaluation, le comité d'experts a adopté une approche de la durabilité qui englobe les améliorations du bien-être environnemental, économique et social.

Informatique en nuage : Tel que défini par le U.S. National Institute of Standards and Technology, un nuage est « un modèle permettant un accès réseauté systématique, pratique et à demande à un ensemble partagé de ressources informatiques configurables (p. ex. des réseaux, des serveurs, des installations de stockage, des applications et des services) pouvant être rapidement mises à contribution, puis libérées, avec un minimum d'effort de la part de la gestion ou d'interaction avec le fournisseur de services » (Mell et Grance, 2011). Un *centre de données* signifie l'installation qui héberge les systèmes informatiques et leurs composantes connexes (p. ex. la climatisation).

Intelligent : Le comité d'experts a adapté la définition tirée d'un rapport de l'OCDE intitulé *Building Blocks for Smart Networks* : un système intelligent est capable d'apprendre des situations antérieures et de communiquer les résultats de ces situations à d'autres systèmes et utilisateurs. Ces systèmes et utilisateurs peuvent ensuite modifier leur comportement (comme améliorer l'efficience énergétique et du temps) pour s'adapter le mieux possible à la situation et ainsi atteindre des objectifs de durabilité. Cela signifie que l'information sur ces situations doit être produite, transmise, traitée, mise en corrélation, interprétée, adaptée et affichée de manière utile, et être suivie par des actions (adapté de OCDE, 2013).

Interconnecté : Les entités interconnectées sont des *objets* (p. ex. des édifices, des camions, des capteurs), des personnes et des organisations (p. ex. des entreprises et des gouvernements) reliés les uns aux autres par des réseaux de télécommunications et, peut-être, par des infrastructures classiques telles que des routes ou des pipelines d'utilité publique.

Mégadonnées : Le comité d'experts s'est appuyé sur la définition suivante de mégadonnées : « des ensembles de données dont la taille excède la capacité de saisie, de stockage, de gestion et d'analyse des logiciels de base de données habituellement utilisés » (Manyika *et al.*, 2011).

Technologies de l'information et des communications (TIC) : Le comité d'experts a adopté la définition des TIC employée par l'UNESCO : « des formes de technologie utilisées pour transmettre, traiter, stocker, créer, afficher, partager ou échanger de l'information par des moyens électroniques » (UNESCO, 2007).

Virtualisation : Dans le contexte des TIC, la virtualisation est l'abstraction d'un appareil ou d'une ressource telle qu'un système d'exploitation ou un réseau informatique.

Références

RÉFÉRENCES

AADNC, 2010 – Affaires autochtones et Développement du Nord Canada. *Définition et types d'adaptation*. Adresse URL : http://www. aadnc-aandc.gc.ca/fra/1100100034628/1100100034629 (dernière consultation : novembre 2013).

ABC, 2013 – Association des banquiers canadiens. *Les Canadiens et leurs services bancaires*. Adresse URL : http://www.cba.ca/fr/media-room/50-backgrounders-on-banking-issues/125-technology-and-banking (dernière consultation : avril 2013).

ACE, 2008 – Association canadienne de l'électricité. *Le réseau intelligent : Une démarche pragmatique*, Ottawa, ON, ACE.

ACE, 2011 – Association canadienne de l'électricité. *Comment dynamiserons-nous l'avenir du Canada : Notre réseau électrique en transition*, Ottawa, ON, ACE.

ACEI, 2013 – Autorité canadienne pour les enregistrements Internet. *Factbook 2013. Le Canada en ligne*. Adresse URL : http://www.cira.ca/factbook/2013/canada-online.html (dernière consultation : juillet 2013).

ACTI, 2009 – Association canadienne de la technologie de l'information. *Leveraging ICT Adoption: What Can Work for Business?,* Mississauga, ON, ACTI.

ACTI, 2013 – Association canadienne de la technologie de l'information. *The Issue: The Importance of Global Workers in Canada's ICT Industry*, Mississauga, ON, ACTI.

ACTS, 2010 – Association canadienne des télécommunications sans fil. *Communications sans fil : Un signal fort pour un Canada plus fort,* Ottawa, ON, ACTS.

Adams, 2012 – Adams, J. « The Government of Canada, and Cyber Security: Security Begins at Home », *Journal of Military and Strategic Studies,* vol. 14, nº 2, p. 1-27.

AEMWG, 2012 – Alberta Environmental Monitoring Working Group. *Implementing a World Class Environmental Monitoring, Evaluation and Reporting System for Alberta*, Edmonton (AB), Alberta Environment and Sustainable Resource Development.

Ahola *et al.*, 2010 – Ahola, J., T. Ahlqvist, M. Ermes, J. Myllyoja et J. Savola. *ICT for Environmental Sustainability,* Espoo, Finlande, VTT.

AIE, 2013 – Agence internationale de l'énergie. *Energy Balances of OECD Countries*, Paris, France, AIE.

Alcott, 2005 – Alcott, B. « Jevons' paradox », *Ecological Economics,* vol. 54, nº 1, p. 9-21.

Ali *et al.*, 2007 – Ali, R., D. Wheitner, E.O. Talbott et J.V. Zborowski. « Connecting environmental health data to people and policy: integrating information and mobilizing communities for environmental public health tracking », *Journal of Community Health,* vol. 32, nº 5, p. 357-374.

Allagui et Kuebler, 2011 – Allagui, I., et J. Kuebler. « The Arab spring and the role of ICTs. Editorial introduction », *International Journal of Communication,* vol. 5, p. 1434-1442.

Allenby et Sarewitz, 2011 – Allenby, B.R., et D. Sarewitz. *The Techno-Human Condition*, Cambridge, MA, MIT Press.

Analytica Advisors, 2012 – Analytica Advisors. *The 2013 Canadian Clean Technology Industry Report*, Ottawa, ON, Analytica Advisors.

Andersen *et al.*,1999 – Andersen, K.V., C.S. Friis, J.V. Hoff et H.W. Nicolajsen. *Informationsteknologi, organisation og forandring: Den offentlige sektor under forvandling*: Djøf/Jurist-og Økonomforbundet.

Anderson *et al.*, 2006 – Anderson, G.F., B.K. Frongner, R.A. Johns et U.E. Reinhardt. « Health Care Spending and Use of Information Technology in OECD Countries », *Health Affairs,* vol. 25, nº 3, p. 819-831.

Andrews, 2011 – Andrews, J. « Clouds Roll in to Handle Stratospheric Capacity Needs », *Health Care IT News* (30 septembre).

Anielski et Wilson, 2009 – Anielski, M., et S. Wilson. *Les chiffres qui comptent vraiment : évaluation de la valeur réelle du capital naturel et des écosystèmes boréaux du Canada*, Ottawa, ON et Drayton Valley, AB, Initiative boréale canadienne et Institut Pembina.

Association canadienne de pipelines d'énergie, 2013 – Association canadienne de pipelines d'énergie. *L'exploration de la technologie des pipelines : les capteurs numériques et la détection des fuites.* Adresse URL : http://www.cepa.com/exploring-pipeline-technology-digital-sensors-and-leak-detection (dernière consultation : août 2013).

AUCC, 2010 – Association des universités et collèges du Canada. *Apprendre de nos laboratoires vivants : Les universités canadiennes contribuent à l'économie numérique*, Ottawa, ON, AUCC.

Baker *et al.*, 2011 – Baker, B., I. Sklokin, L. Coad et T. Crawford. *Canada's Electricity Infrastructure. Building a Case for Investment,* Ottawa, ON, Conference Board du Canada.

Balakrishnan *et al.*, 2007 – Balakrishnan, J., J.B. Eliasson et C. Sweet. « Factors affecting the evolution of manufacturing in Canada: An historical perspective », *Journal of Operations Management,* vol. 25, p. 260-283, doi: 10.1016/j.jom.2006.05.014.

Banque mondiale, 2013a – Banque mondiale. *Managing Disaster Risks for Resilient Development.* Adresse URL : http://www.worldbank.org/en/results/2013/04/12/ managing-disaster-risks-resilient-development (dernière consultation : juillet 2013).

Banque mondiale, 2013b – Banque mondiale. *Leveraging Technology for Disaster Risk Management.* Adresse URL : http://www.worldbank.org/en/news/feature/2013/04/10/ leveraging-technology-disaster-risk-management (dernière consultation : juin 2013).

Banque mondiale, 2013c – Banque mondiale. *Population, Total.* Adresse URL : http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL (dernière consultation : octobre 2013).

Barbose *et al.*, 2005 – Barbose, G., C. Goldman, R. Bharvirkar, N. Hopper et M. Ting. *Real Time Pricing as a Default or Optional Service for C&I Customers: A Comparative Analysis of Eight Case Studies*, Berkeley, CA, California Energy Comission.

BC Hydro, s.d. – BC Hydro. *Smart Metering and Infrastructure Program Business Case*, Vancouver, CB, BC Hydro.

Belady, 2011 – Belady, C.L. *Projecting Annual New Datacenter Construction Market Size*, Microsoft Corporation.

Belanger et Rowlands, 2013 – Belanger, N., et I. Rowlands. *Smart Energy Networks: Progress and Prospects*, Waterloo, ON, Waterloo Institute for Sustainable Energy.

Bendor *et al.*, 2012 – Bendor, R., S.H. Lyons et J. Robinson. « What's there not to 'like'? The technical affordances of sustainability deliberations on Facebook », *Journal of Democracy*, vol. 4, nº 1, p. 67-88.

Bilbao-Osorio *et al.*, 2013 – Bilbao-Osorio, B., S. Dutta et B. Lanvin. *The Global Information Technology Report 2013. Growth and Jobs in a Hyperconnected World*, Genève, Suisse, Forum économique mondial et INSEAD.

BMWi, 2009 – Ministère fédéral de l'économie et de la technologie. *The Federal Government's Broadband Strategy*, Berlin, Allemagne, BMWi.

BMWi, 2010 – Ministère fédéral de l'économie et de la technologie. *ICT Strategy of the German Federal Government: Digital Germany 2015*, Berlin, Allemagne, BMWi.

Bollier, 2007 – Bollier, D. « The Growth of the Commons Paradigm », dans Hess, C., et E. Ostrom (réd.), *Understanding Knowledge as a Commons: From Theory to Practice*, Cambridge, MA, MIT Press.

Bomhof *et al.*, 2009 – Bomhof, F., P. Van Hoorik et M. Donkers. « Systematic analysis of rebound effects for 'greening by ICT' initiatives », *Communications & Strategies,* nº 76, p. 77.

Bradley *et al.*, 2013 – Bradley, J., J. Barbier et D. Handler. *Embracing the Internet of Everything to Capture Your Share of $14.4 Trillion*, San Jose, CA, Cisco.

Branham Group Inc., 2012 – Branham Group Inc. *Edition of the Branham300: Canada's Definitive Ranking of ICT Leaders.* Adresse URL : www.branhamgroup.com/news-releases/20120424-2012-edition-of-the-branham300-canadas-definitive-ranking-of-ict-leaders (dernière consultation : février 2013).

Brousseau et Curien, 2007 – Brousseau, E., et N. Curien. *Internet and Digital Economics, Theories, and Applications*, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.

Brown, 2005 – Brown, T. *Strategy by design.* Adresse URL : http://www.fastcompany.com/52795/strategy-design (dernière consultation : août 2013).

Brown, 2008 – Brown, T. « Design thinking », *Harvard Business Review* (juin).

Bryans et Lojk, 2010 – Bryans, B., et B. Lojk. *Feuille de route pour la normalisation du réseau intelligent au Canada*, communication du Groupe de travail du CNC/CEI sur les normes et la technologie des réseaux intelligents, à la 44e réunion du CCCNT portant sur les normes des TIC pour les réseaux intelligents**,** Ottawa ON.

Buehler et Pucher, 2011 – Buehler, R., et J. Pucher. « Sustainable transport in Freiburg: Lessons from Germany's environmental capital », *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 5, p. 43-70.

Buratti *et al.*, 2009 – Buratti, C., A. Conti, D. Dardari et R. Verdone. « An overview on wireless sensor networks technology and evolution », *Sensors,* vol. 9, p. 6869-6896, doi: 10.3390/s90906869.

Bureau du vérificateur général du Canada, 2011 – Bureau du vérificateur général du Canada. *Rapport du commissaire à l'environnement et au développement durable*, Ottawa, ON, Bureau du vérificateur général du Canada.

C21 Canada, 2012 – C21 Canada. *Transformer les esprits. L'enseignement public du Canada – Une vision pour le XXIe siècle*, C21 Canada.

CAC, 2009 – Conseil des académies canadiennes. *Innovation et stratégies d'entreprise : Pourquoi le Canada n'est pas à la hauteur*, Ottawa, ON, Le comité d'experts sur l'innovation dans les entreprises, Conseil des académies canadiennes.

CAC, 2012 – Conseil des académies canadiennes. *L'état de la science et de la technologie au Canada*, Ottawa, ON, Le comité d'experts sur l'état de la science et de la technologie au Canada, Conseil des académies canadiennes.

CAC, 2013a – Conseil des académies canadiennes. *L'état de la R-D industrielle au Canada*, Ottawa, ON, Le comité d'experts sur l'état de la R-D industrielle au Canada, Conseil des académies canadiennes.

CAC, 2013b – Conseil des académies canadiennes. *Incidences de l'innovation : Mesure et évaluation*, Ottawa, ON, Le comité d'experts sur les incidences socio-économiques des investissements dans l'innovation, Conseil des académies canadiennes.

Canada Newswire, 2013 – Canada Newswire. Le gouvernement Harper investit dans le domaine de la cybersanté. Adresse URL : http://www.newswire.ca/fr/story/1172299/le-gouvernement-harper-investit-dans-le-domaine-de-la-cybersante (dernière consultation : juillet 2013).

Canadian Urban Institute, 2008 – Canadian Urban Institute. *Advancing. the.green@genda.on.ca: Broadband Communications and Ontario's Green Initiatives*,Toronto, ON, Canadian Urban Institute.

CANARIE, 2012a – Le réseau évolué de recherche et d'innovation du Canada. *Le gouvernement canadien investit 40 millions de dollars dans CANARIE*, Ottawa, ON, CANARIE.

CANARIE, 2012b – Le réseau évolué de recherche et d'innovation du Canada. *Rapport annuel au ministre,* Ottawa, ON, Industrie Canada.

CANARIE, 2012c – Le réseau évolué de recherche et d'innovation du Canada. *Foire aux questions.* Adresse URL : http://www.canarie.ca/fr/a-propos/quinoussommes/faq (dernière consultation : septembre 2013).

CANARIE, s.d. – Le réseau évolué de recherche et d'innovation du Canada. *CANARIE, Le réseau évolué de recherche et d'innovation du Canada*, Ottawa, ON, CANARIE.

Carbon Disclosure Project, 2011 – Carbon Disclosure Project. *Carbon Disclosure Project Study 2011*, Londres, Royaume-Uni, Carbon Disclosure Project.

Cave et Cave, 2012 – Cave, J., et B. Cave, *Nudging eConsumers: Online Ecolabelling as Part of the Green Internet*, Cambridge, Royaume-Uni, Social Science Research Network.

Cavoukian, 2010 – Cavoukian, A. *Privacy by Design: Achieving the Gold Standard in Data Protection for the Smart Grid*, Toronto, ON, Commissaire à l'information et à la protection de la vie privée de l'ONtario.

Cavoukian, 2011 – Cavoukian, A. *Privacy by Design. The 7 Foundational Principles*, Toronto, ON, Commissaire à l'information et à la protection de la vie privée de l'Ontario.

Cavoukian, 2012 – Cavoukian, A. *Privacy by Design and the Emerging Personal Data Ecosystem*, Toronto, ON, Commissaire à l'information et à la protection de la vie privée de l'Ontario.

Cavoukian et Jonas, 2012 – Cavoukian, A., et J. Jonas. *Privacy by Design in the Age of Big Data*, Toronto, ON, Commissaire à l'information et à la protection de la vie privée de l'Ontario.

Cavoukian, s.d. – Cavoukian, A. *Privacy in the Clouds*, Toronto, ON, Commissaire à l'information et à la protection de la vie privée de l'Ontario.

CBC News, 2011 – Canadian Broadcasting Corporation. *BC Hydro Smart Meter Installs Violating Privacy: Report.* Adresse URL : http://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/story/2011/12/19/bc-hydro-smart-meters-privacy.html (dernière consultation : décembre 2011).

CBC News, 2013 – Canadian Broadcasting Corporation. *BC Hydro Backs Down on Smart Meter Installation.* Adresse URL : http://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/story/2013/01/30/bc-smart-meter.html (dernière consultation : avril 2013).

CCN, 2012 – Conseil canadien des normes. *Feuille de route pour la normalisation du réseau intelligent au Canada : Document de planification stratégique*, Ottawa, ON, Groupe de travail du CCN/CEI sur les normes et la technologie des réseaux intelligents, Conseil canadien des normes.

Cebr, 2012 – Centre for Economics and Business Research Ltd. *Data Equity: Unlocking the Value of Big Data*, Londres, Royaume-Uni, Cebr.

CEO, 2007 – Commission de l'énergie de l'Ontario. *Smart Metering Initiative: Draft Criteria and Filing Guidlines for Smart Metering Pilots*, Toronto, ON, gouvernement de l'Ontario.

Chambre de commerce du Canada, 2013 – Chambre de commerce du Canada. *L'électricité au Canada : Investir intelligemment pour dynamiser la compétitivité future*, Ottawa, ON, Chambre de commerce du Canada.

Chan et Perrig, 2003 – Chan, H., et A. Perrig, *Security and Networks*, Pittsburgh, PA, Université Carnegie Mellon.

Chiosi *et al.*, 2012 – Chiosi, M., D. Clarke, P. Willis, A. Reid, J. Feger, M. Bugenhagen, . . . M. Fargano. *Network Functions Virtualisation*, Sophia-Antipolis, France, European Telecommunications Standards Institute.

Chopra, 2011 – Chopra, A. *A Policy Framework for the 21st Century Grid: Enabling Our Secure Energy Future*, Washington, DC, Executive Office of the President of the United States.

Cisco, 2013 – Cisco. *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2012-2017*, San Jose, CA, Cisco.

Columbia Telecommunications Corporation, 2010 – Columbia Telecommunications Corporation. *The Impact of Broadband Speeds and Price on Small Business*, Washington, DC, Small Business Administration, Office of Advocacy.

Comité sénatorial permanent de l'énergie, de l'environnement et des ressources naturelles, 2012 – Comité sénatorial permanent de l'énergie, de l'environnement et des ressources naturelles. *Maintenant ou jamais : Le Canada doit agir d'urgence pour prendre sa place dans le nouvel ordre mondial de l'énergie*, Ottawa, ON, Comité sénatorial permanent de l'énergie, de l'environnement et des ressources naturelles.

Commission européenne, 2004 – Commission européenne. *Interoperability Framework for Pan-European eGovernment Services*, Bruxelles, Belgique, Commission européenne.

Commission européenne, 2009a – Commission européenne. *ICT for a Low Carbon Economy: Smart Buildings*, Bruxelles, Belgique, Commission européenne.

Commission européenne, 2009b – Commission européenne. *ICT and Energy Efficiency. The Case for Manufacturing*, Bruxelles, Belgique, Commission européenne.

Commission européenne, 2011 – Commission européenne. *Groupe d'experts de haut niveau sur les technologies clés génériques*, Bruxelles, Belgique, Commission européenne.

Commission européenne, 2012 – Commission européenne. *Unleashing the Potential of Cloud Computing in Europe*, Bruxelles, Belgique, Commission européenne.

Committee on Climate Change, 2009 – Committee on Climate Change. *Meeting Carbon Budgets – the Need for a Step Change. Progress Report to Parliament,* Londres, Royaume-Uni, Committee on Climate Change.

Conference Board du Canada, 2009 – Conference Board du Canada. *Connecting Students to Tomorrow's ICT Jobs and Careers: A Pan Canadian Dialogue with Grade Nine and Ten Students, Parents, and Secondary School Guidance / Career Counsellors,* Ottawa, ON, Conference Board du Canada.

Conference Board du Canada, 2013a – Le Conference Board du Canada. *La santé.* (Adresse URL : http://www.conferenceboard.ca/hcp/overview/health_fr.aspx (dernière consultation : juin 2013).

Conference Board du Canada, 2013b – Le Conference Board du Canada. *Environnement.* Adresse URL : http://www.conferenceboard.ca/hcp/overview/environment_fr.aspx (dernière consultation : février 2013).

Conference Board du Canada, 2013c – Le Conference Board du Canada. *ICT Investment.* Adresse URL : http://www.conferenceboard.ca/hcp/details/innovation/ict.aspx.

Connected World, 2013 – Connected World. « Open Data Leads to Energy Solutions », *Connected World Magazine* (4 avril).

Corkal et Adkins, 2008 – Corkal, D.R., et P.E. Adkins. *Canadian Agriculture and Water,* communication présentée au XIIIe Congrès Mondial de l'Eau de l'IWRA, Montpelier, France.

CRTC, 2011a – Conseil de la radiodiffusion et des télécommunications canadiennes. *Rapport de surveillance des communications,* Ottawa, ON, CRTC.

CRTC, 2011b – Conseil de la radiodiffusion et des télécommunications canadiennes. *Rapport sur la large bande,* Ottawa, ON, CRTC.

CRTC, 2012 – Conseil de la radiodiffusion et des télécommunications canadiennes. *Rapport de surveillance des communications – Septembre 2012,* Ottawa, ON, CRTC.

CSC, 2012 – Computer Sciences Corportation. *The Future of 3D Printing Services and Manufacturing,* Falls Church, VA, CSC.

CTIC, 2011 – Conseil des technologies de l'information et des communications. *Perspective sur les ressources humaines dans le marché du travail des TIC 2011-2016,* Ottawa, ON, CTIC.

CTIC, 2012 – Conseil des technologies de l'information et des communications. *Cyber Security: Critical ICT Human Resource in the Digital Economy,* Ottawa, ON, CTIC.

CTIC, 2013 – Conseil des technologies de l'information et des communications. *Le Canada et les impératifs des technologies mobiles, un moteur de croissance ,* Ottawa, ON, CTIC.

CTIC, 2014 – Conseil des technologies de l'information et des communications. *Skills Shortage a Reality for Canada's ICT Sector.* Adresse URL : http://www.ictc-ctic.ca/?p=18431 (dernière consultation : mars 2014).

Cukier, 2003 – Cukier, W. *Constructing the IT Skills Shortage in Canada: The Implications of Institutional Discourse and Practices for the Participation of Women*, communication présentée dans le cadre de la SIGMS Conference on Computer Personnel Research: Freedom in Philadelphia – Leveraging Differences and Diversity in the IT Workforce, Philadelphie, PA.

Culler *et al.*, 2004 – Culler, D., D. Estrin et M. Srivastava. *Overview of Sensor Networks*, Washington, DC, IEEE Computer Society.

Cullinen, 2013 – Cullinen, M. *Machine to Machine Technologies: Unlocking the Potential of a $1 Trillion Industry*, Washington, DC,The Carbon War Room.

Darkins *et al.*, 2008 – Darkins, A., P. Ryan, R. Kobb, L. Foster, E. Edmonson, B. Wakefield et A.E. Lancaster. « Care coordination/home telehealth: The systematic implementation of health informatics, home telehealth, and disease management to support the care of veteran patients with chronic conditions », *Telemedicine and e-Health*, vol. 14, nº 10, p. 1118-1126.

Département américain de la Santé et des Services à la personne, s.d. – Département américain de la Santé et des Services à la personne. *What are Some of the Benefits of e-Prescribing*. Adresse URL : http://www.hrsa.gov/healthit/toolbox/HealthITAdoptiontoolbox/ElectronicPrescribing/benefitsepres.html (dernière consultation : octobre 2013).

Département américain de l'Énergie, 2010 – Département américain de l'Énergie. *Communications Requirements of Smart Grid Technologies*, Washington, DC, Département américain de l'Énergie.

Département américain de l'Énergie, 2013 – Département américain de l'Énergie. *Estimating Appliance and Home Electronic Energy Use*. Adresse URL : http://energy.gov/energysaver/articles/estimating-appliance-and-home-electronic-energy-use (dernière consultation : novembre 2013).

Derek et Clements-Croome, 1997 – Derek, T., et J. Clements-Croome. « What do we mean by intelligent buildings? », *Automation in Construction*, vol. 6, nº 5, p. 395-400.

Detail Das Architekturportal, 2012 – Detail Das Architekturportal. *Efficiency House Plus with Electric Mobility – Interim Report*. Adresse URL : http://www.detail-online.com/architecture/news/efficiency-house-plus-with-electric-mobility-interim-report-019261.html (dernière consultation : août 2013).

de T'Serclaes et Jollands, 2007 – de T'Serclaes, P., et N. Jollands. Agence internationale de l'énergie et Organisation de Coopération et de développement économiques, Paris, France.

Diamond et Roberts, 2012 – Diamond, S., et V. Roberts. *Taking Ontario Mobile*, Toronto, ON, Université de l'École d'art et de design de l'Ontario.

Díaz *et al.*, 2011 – Díaz, S.E., J.C. Pérez, A.C. Mateos, M.C. Marinescu et B.B.A. Guerra. « A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks », *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 762, p. 252-265.

Draca *et al.*, 2006 – Draca, M., R. Sadun et J. Van Reenen. *Productivity and ICT: A Review of the Evidence*, Londres, Royaume-Uni, Centre for Economic Performance, London School of Economics and Political Science.

Eastman *et al.*, 2011 – Eastman, C., P. Teicholz, R. Sacks et K. Liston. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Hoboken, NJ, Wiley.

Ecotrust Canada, 2013 – Ecotrust Canada. *Trace Your Seafood at Thisfish.info*. Adresse URL : http://ecotrust.ca/fisheries/seafood-traceability-thisfish (dernière consultation : juin 2013).

Edmondson *et al.*, 2012 – Edmondson, G., L. Valigra, M. Kenward, M. Hudson et H. Belfield. *Making Industry-University Partnerships Works: Lessons from Successful Collaborations,* Bruxelles, Belgique, Science Business Innovation Board AISBL.

Edvardsson *et al.*, 2010 – Edvardsson, B., A. Gustafsson, P. Kristensson et L. Witell. « Service Innovation and Customer Co-development », *Handbook of Service Science*, New York, NY, Springer.

Ehrenberg, 2013 – Ehrenberg, R., « The 3-D Printing Revolution », *Science News* (9 mars).

EMCLA, s.d. – Ecological Monitoring Committee for the Lower Athabasca. *About*. Adresse URL : http://www.emcla.ca/about/ (dernière consultation : novembre 2013).

Emiliani *et al.*, 2008 – Emiliani, P.L., L. Lurzagli, M. Billi, F. Gabbanini et E. Palchetti. *Report on the Impact of Technological Developments on eAccessibility*, Bruxelles, Belgique, Commission européenne.

Environnement Canada, 1997 – Environnement Canada. *Environmental Life Cycle Management: A Guide for Better Business Decisions*, Ottawa, ON, Environnement Canada.

Environnement Canada, 2009 – Environnement Canada. *Enquête sur l'eau potable et les eaux usées des municipalités – Utilisation de l'eau par les municipalités – Tableaux sommaires de 2009,* Ottawa, ON, Environnement Canada.

Environnement Canada, 2010 – Environnement Canada . *Le Canada annonce la cible de réduction des émissions au titre de l'Accord de Copenhague*. Adresse URL : http://www.ec.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=714D9AAE-1&news=EAF552A3-D287-4AC0-ACB8-A6FEA697ACD6 (dernière consultation : février 2013).

Environnement Canada, 2012 – Environnement Canada. *Tendances en matière d'émissions au Canada 2012*, Ottawa, ON, Environnement Canada.

Environnement Canada, 2013a – Environnement Canada. *Modélisation et analyse climatique*. Adresse URL : http://www.ec.gc.ca/ccmac-cccma/default.asp?lang=Fr&n=4596B3A2-1 (dernière consultation : janvier 2014).

Environnement Canada, 2013b – Environnement Canada. *L'ouragan Hazel – Mesures d'atténuation*. Adresse URL : http://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=CA3BC939-1 (dernière consultation : août 2013).

Environnement Canada, 2013c – Environnement Canada. *Tendances en matière d'émissions au Canada*, Ottawa, ON, Environnement Canada.

Environment Canada, Division des inventaires et rapports sur les polluants, 2013 – Environnement Canada, Division des inventaires et rapports sur les polluants. *2011 Total Air Pollutants Emissions for Canada,* Gatineau, QC, Environnement Canada.

Environment Canada, Division des inventaires et rapports sur les polluants, 2014 – Environnement Canada, Division des inventaires et rapports sur les polluants. *2012 Total Air Pollutants Emissions for Canada,* Gatineau, QC, Environnement Canada.

EPA, 2011a – Environmental Protection Agency. *Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle*, Ann Arbor, MI, EPA.

EPA, 2011b – Environmental Protection Agency. *Electronics Waste Management in the United States Through 2009*, Washington, DC, EPA.

Erdmann *et al.*, 2004 – Erdmann, L, L. Hilty, J., Goodman et P. Arnfalk. *The Future Impact of ICTs on Environmental Sustainability*, Seville, Espagne, Commission européenne.

Erhorn *et al.,* 2013 – Erhorn, H., A. Bergmann, M. Beckert etJ. Reib. « Messtechnische und energetische Validierung des BMVBS-Effizienzhaus Plus in Berlin Messperiode März 2012 bis Februar 2013 », *Bauphysik*, vol. 35, nº 3, p. 162-171.

Ericsson, 2009 – Ericsson. *E-Health Croatia. Life Cycle Assessment of ICT Enablement Potential*. Adresse URL : http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/success_stories/2009/e-health_croatia.pdf (dernière consultation : juillet 2013).

Erumban et De Jong, 2006 – Erumban, A., et S. De Jong. « Cross-country differences in ICT adoption: A consequence of culture? », *Journal of World Business*, vol. 41, nº 4, p. 302-314.

ETS, 2002 – Educational Testing Service. *Digital Transformation: A framework for digital literacy. A Report of the International ICT Literacy Panel*, ETS.

European Research Cluster on the Internet of Things, 2011 – European Research Cluster on the Internet of Things. *Internet of Things. Pan European Research and Innovation Vision,* Bruxelles, Belgique, Commission européenne.

Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, 2005 – Évaluation des écosystèmes pour le millénaire. *Les écosystèmes et le bien-être humain : synthèse*, Washington, DC, World Resources Institute.

Evans, 2012 – Evans, D. *The Internet of Everything*, San Jose, CA, Cisco.

Fachbereich Wirtschaftsinformatik und Neue Medien, 2010 – Fachbereich Wirtschaftsinformatik und Neue Medien (Département des systèmes d'information et des nouveaux médias, Université de Siegen). *Study on the Social Impact of ICT. Topic Report 3.* Siegen, Allemagne, Commission européenne.

Federal Energy Regulatory Commission, 2011 – Federal Energy Regulatory Commission. *Assessment of Demand Response and Advanced Metering,* Washington, DC, Federal Energy Regulatory Commission.

Fettweis, 2012 – Fettweis, G.P. « A 5G Wireless Communication Vision », *Microwave Journal* (14 décembre).

FLOW, *et al.*, 2008 – Forum for Leadership on Water, POLIS Project on Ecological Governance, CWWA (Canadian Water and Wastewater Association) et Alliance for Water Efficiency. *Clean Water, Green Jobs: A Stimulus Package for Sustainable Water Infrastructure Investments*, FLOW, POLIS Project on Ecological Governance, CWWA, Alliance for Water Efficiency.

Forbes Insights, 2013 – Forbes Insights. « *The Big Potential of Big Data* », *Forbes Insights* (octobre).

Forney *et al.*, 2012 – Forney W.M., R.P .Raunikar, R.L. Bernknopf et S.K. Mishra. *An Economic Value of Remote-Sensing Information – Application to Agricultural Production and Maintaining Groundwater Quality*, Reston, VA, United States Geological Survey.

Forum économique mondial, 2011 – Forum économique mondial. *Personal Data: The Emergence of a New Asset Class,* Genève, Suisse, Forum économique mondial.

Forum économique mondial, 2012 – Forum économique mondial. *Rethinking Personal Data: Strengthening Trust,* Genève, Suisse, Forum économique mondial.Forum pour l'avenir, 2009 – Forum pour l'avenir. *Walkit.com 1st Year Review*, Londres, Royaume-Uni, Forum pour l'avenir.

Foust-Cummings *et al.*, 2008 – Foust-Cummings, H., L. Sabattini et N. Carter, *Women in Technology: Maximizing Talent, Minimizing Barriers*, New York, NY, Catalyst.

Franklin, 1996 – Franklin, U.M. *Every Tool Shapes the Task: Communities and the Information Highway*, Vancouver, CB, Lazara Press.

Fraunhofer, 2012 – Fraunhofer. *Morgenstadt – City of the Future,* Stuttgart, Allemagne, Fraunhofer-Gesellschaft.

Fuchs, 2008 – Fuchs, C. « The implications of new information and communication technologies for sustainability », *Environment, Development and Sustainability,* vol. 10, p. 291-309, doi: 10.1007/s10668-006-9065-0.

FZI, 2014 – Forschungszentrum Informatik (Centre de recherche en technologie de l'information FZI, Institut de technologie de Karlsruhe). *House of Living Labs*. Adresse URL : http://www.fzi.de/en/forschung/house-of-living-labs/ (dernière consultation : mars 2014).

Gara, 2012 – Gara, S. *Multi-Modal Information, Booking and Payment System, Linking Individual E-Mobility Services with Those of Public Transport*. Adresse URL : http://eu-smartcities.eu/content/multi-modal-information-booking-and-payment-system-linking-individual-e-mobility-services (dernière consultation : août 2013).

Gartner, 2012 – Gartner. *Gartner Says, Big Data Creates Big Jobs: 4.4 Million IT Jobs Globally to Support Big Data by 2015*. Adresse URL : http://www.gartner.com/newsroom/id/2207915 (dernière consultation : avril 2013).

Gellman et Poitras, 2013 – Gellman, B., et L. Poitras. « U.S. British Intelligence Mining Data from Nine U.S. Internet Companies in Broad Secret Program », *The Washington Post* (7 juin).

GéoBase, 2014 – GéoBase. *Home*. Adresse URL : http://www.geobase.ca/geobase/en/index.html;jsessionid=2CEF8448623CCC7DCEB827B304DC7208 (dernière consultation : janvier 2014).

GeSI, 2008 – Global e-Sustainability Initiative. *Smart 2020: Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age*, Bruxelles, Belgique, GeSI.

GeSI, 2012 – Global e-Sustainability Initiative. *GeSI SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future*, Bruxelles, Belgique, GeSI.

Giggey, 2012 – Giggey, R. « The G4: Setting City Data Free », *Canadian Government Executive* (7 mai).

Gillingham *et al.*, 2009 – Gillingham, K., R.G. Newell et K. Palmer. *Energy Efficiency Economics and Policy*, Washington, DC, Resources for the Future.

Gilmore et Tompkins, 2000 – Gilmore, D., et J. Tompkins. « Transport plays key role in supply strategy », *ID Systems*, vol. 20, p. 16-17.

Gouvernement de l'Alberta, 2013 – Gouvernement de l'Alberta. *Environmental Monitoring Agency*. Adresse URL : http://environment.alberta.ca/03379.html (dernière consultation : novembre 2013).

Gouvernement de l'Australie, 2013 – Gouvernement de l'Australie. *Advancing Australia as a Digital Economy: An Update to the National Digital Economy Strategy*, Canberra, Australie, Gouvernement de l'Australie.

Gouvernement de l'Ontario, 2012 – Gouvernement de l'Ontario. « Hydrogenics Scores Another Win with $92-million Sale of Hydrogen Generators and Fuel Cell Systems », *News Releases/Program Announcements* (13 novembre).

Gouvernement de l'Ontario, 2013 – Gouvernement de l'Ontario. *Données ouvertes du Gouvernement de l'Ontario*. (Adresse URL : http://www.ontario.ca/fr/gouvernement/gouvernement-dontario-donnees-ouvertes (dernière consultation : janvier 2014).

Gouvernement des États-Unis, s.d. – Gouvernement des États-Unis. *The Energy Data Initiative*. Adresse URL : http://www.data.gov/energy/page/energy-data-initiative (dernière consultation : août 2013).

Gouvernement du Canada, 2010 – Gouvernement du Canada. *L'Économie numérique au Canada. Document de consultation*. Adresse URL : http://www.ic.gc.ca/eic/site/028.nsf/fra/h_00025.html (dernière consultation : août 2013).

Gouvernement du Canada, 2013a – Gouvernement du Canada. *Données ouvertes au Canada*. Adresse URL : http://data.gc.ca/eng/maps/open-data-canada (dernière consultation : décembre 2013).

Gouvernement du Canada, 2013b – Gouvernement du Canada. *Regroupement des centres de données*. Adresse URL : http://www.ssc-spc.gc.ca/pages/dc-cd-fra.html (dernière consultation : juin 2013).

Gouvernement du Canada, 2014a – Gouvernement du Canada. *Programme d'innovation Construire au Canada*. Adresse URL : https://achatsetventes.gc.ca/initiatives-et-programmes/programme-d-innovation-construire-au-canada-picc (dernière consultation : janvier 2014).

Gouvernement du Canada, 2014b – Gouvernement du Canada. *Politique d'achats écologiques*. Adresse URL : http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/ecologisation-greening/achats-procurement/politique-policy-fra.html (dernière consultation : mars 2014).

Gouvernement du Canada, 2014c – Gouvernement du Canada. *Sur la voie de l'équilibre : Créer des emplois et des opportunités,* Ottawa, ON, ministère des Finances du Canada.

Grossman, 2007 – Grossman, E. *High Tech Trash: Digital Devices, Hidden Toxics, and Human Health*, Washington, DC, Island Press.

Groupe consultatif national sur les sciences et technologies relatives à l'énergie durable, 2006 – Groupe consultatif national sur les sciences et technologies relatives à l'énergie durable. *Construire des alliances puissantes. Priorités et orientations en sciences et en technologies énergétiques au Canada,* Ottawa, ON, Ressources naturelles Canada.

Groupe de travail Canada–États-Unis sur la panne de courant, 2004 – Groupe de travail Canada–États-Unis sur la panne de courant. *Rapport final sur la panne du 14 août 2003 aux États-Unis et au Canada : causes et recommandations*, Washington, DC, Département américain de l'Énergie, et Ottawa, ON, Ressources naturelles Canada.

Groupe de travail d'Action Canada, 2013 – Groupe de travail d'Action Canada. *Conjuguer l'éducation au future : Adapter les systèmes éducatifs canadiens pour le 21e siècle,* Vancouver, CB, Action Canada.

GTM Research, 2012 – Green Tech Media Research. *Understanding the Potential of Smart Grid Data Analytics*, Boston, MA, GTM Research.

Gungor *et al.*, 2011a – Gungor, V.C., D. Sahin, T. Kocak et S. Ergüt. « Smart grid communications and networking », *Turk Telekom, 11316-01.*

Gungor *et al.*, 2011b – Gungor, V.C., D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella, C. Cecati et G.P. Hancke. « Smart grid technologies: Communication technologies and standards », *Industrial Informatics, IEEE Transactions* », vol. 7, nº 4, p. 529-539.

Hall et Dorai, 2010 – Hall, A., et K. Dorai. *The Greening of Agriculture. Agriculutral Innovation and Sustainable Growth,* Brighton, Royaume-Uni, OCDE.

Hall *et al.*, 2010 – Hall, B., J. Mairesse et P. Mohnen. *Measuring the Returns to R&D. Handbook of the Economics of Innovation*, Cambridge, MA, National Bureau of Economic Research.

Harrisdécima, 2011 – Harrisdécima. *Sondage sur les Canadiens et la protection de la vie privée 2011*, Ottawa, ON, Commissariat à la protection de la vie privée du Canada.

Hillel et Vlek, 2005 – Hillel, D., et P. Vlek. « The sustainability of irrigation », *Advances in Agronomy »*, vol. 87, p. 55-84.

Hiscock et Beauvais, 2012 – Hiscock, J., et D. Beauvais. *Réseaux électriques intelligents au Canada en 2011-2012*, Ottawa, ON, Ressources naturelles Canada.

Hitchon, 2012 – Hitchon, B. *Best Practices for Validating CO_2 Geological Storage: Observations and Guidance from the IEAGHG Weyburn-Midale CO_2 Monitoring Project*, Cheltenham, Royaume-Uni, Geoscience Publishing.

Hogan et Nicholson, 2011 – Hogan, C., et R. Nicholson. *Data and Analytics for Smart Buildings*, Framingham, MA, IDC Energy Insights.

Holmner *et al.*, 2012 – Holmner, Å., J. Rocklöv, N. Ng et M. Nilsson. « Climate change and eHealth: A promising strategy for health sector mitigation and adaptation », *Global Health Action,* vol. 5, p. 18428.

Hunter *et al.*, 2010 – Hunter, G., J.R. Stetter, P.J. Hesketh et C. Liu. *Smart Sensor Systems*, Pennington, NJ, The Electrochemical Society.

Hupkes,1982 – Hupkes, G. « The law of constant travel time and trip-rates », *Futures*, vol. 141, p. 38-46.

Hyde *et al.*, 2010 – Hyde, D., H. Herrmann et R.A. Lautenschlager. *The State of Biodiversity in Canada*, Ottawa, ON, NatureServe.

Hydrogenics, 2012 – Hydrogenics. *Power-To-Gas Solution*, Gladbeck, Allemagne, Hydrogenics.

IBM, 2011 – IBM. *The Value of Smarter Oil and Gas Fields*, Armonk, NY, IBM Center for Applied Insights.

IBM, 2012 – IBM. *Smarter Data Centre Opens in Canada.* Adresse URL : http://www.ibm.com/news/ca/en/2012/09/21/f442801w72056a83.html (dernière consultation : août 2013).

IIDD, 2011 – Institut international du développement durable. *ICTs as Enablers of the Green Economy: A Brief on Internet Policy Issues*, Winnipeg, MB, IIDD.

Immen, 2013 – Immen, W. « Rooftop Farming Gains High Ground in Montreal », *The Globe and Mail* (19 août).

Industrie Canada, 2008 – Industrie Canada. *L'état de la logistique: Le rapport canadien 2008*, Ottawa, ON, Industrie Canada.

Industrie Canada, 2011 – Industrie Canada. *Glossaire*. Adresse URL : http://www.ic.gc.ca/eic/site/ee-ee.nsf/fra/h_ef00016.html (dernière consultation : décembre 2013).

Industrie Canada, 2012 – Industrie Canada. *Profil du secteur canadien des TIC*. Adresse URL : http://www.ic.gc.ca/eic/site/ict-tic.nsf/fra/it07236.html (dernière consultation : février 2012).

Industrie Canada, 2013 – Industrie Canada. *Profil du secteur canadien des TIC*, Ottawa, ON, Industrie Canada.

Institut urbain du Canada, s.d. – Institut urbain du Canada. *Water Mapping*, Toronto, ON, Institut urbain du Canada.

Ipsos, 2013 – Ipsos. *Close to Half of Canadians Now Own a Smartphone*. Adresse URL : http://www.ipsos-na.com/news-polls/pressrelease.aspx?id=6005 (dernière consultation : août 2013).

Isikdag *et al.*, 2007 – Isikdag, U., G. Aouad, J. Underwood et S. Wu. *Building Information Models: A Review on Storage and Exchange Mechanisms*, communication présentée à la 24th W78 Conference, Bringing ITC Knowledge to Work, Lancashire, Royaume-Uni.

JOLT, 2014 – JOLT. *About JOLT*. Adresse URL : http://jolt.marsdd.com/#about (dernière consultation : mars 2014).

Joss, 2013 – Joss, S. *Policy Brief: Governing for Eco-City Innovation*, Londres, Royaume-Uni, Université de Westminster.

Katipamula *et al.*, 1999 – Katipamula, S., R.G. Pratt, D.P. Chassin, Z.T. Taylor, K. Gowri et M.R. Brambley. « Automated fault detection and diagnostics for outdoor-air ventilation systems and economizers: Methodology and results from field testing », *Transactions-American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, vol. 105, p. 555-567.

Kay *et al.*, 2010 – Kay, D., J. Green et S. Dibb. *Smarter Moves: How Information Communications Technology can Promote Sustainable Mobility*, Londres, Royaume-Uni, Sustainable Development Commission.

Keizer *et al.*, 2011 – Keizer, C., D. Mahony, T. Dyck et C. Kneteman. *Water Infrastructure and the Law in Canada*, Toronto, ON, Torys LLP.

Kelly *et al.*, 2012 – Kelly, J., G. Rouse, R. Nechas et A. Wirth. *Investing in Grid Modernization: The Business Case for Empowering Consumers, Communities and Utilities*, Perfect Power Institute.

Kingdom *et al.,* 2006 – Kingdom, B., R. Liemberger et P. Marin. *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries*, Washington, DC, Banque mondiale.

Kolbasuk McGee, 2011 – Kolbasuk McGee, M. *E-Health Records Produce Some Environmental Benefits.* Adresse URL : http://www.informationweek.com/healthcare/electronic-medical-records/e-health-records-produce-some-environmen/229402711 (dernière consultation : juin 2013).

Koomey, 2008 – Koomey, J.G. « Worldwide electricity used in data centers », *Environmental Research Letters,* vol. 3, p. 034008, doi: 10.1088/1748-9326/3/3/034008.

Kreiger et Pearce, 2013 – Kreiger, M., et J.M. Pearce. « Environmental life cycle analysis of distributed three-dimensional printing and conventional manufacturing of polymer products », *ACS Sustainable Chemistry and Engineering,* vol. 112, p. 1511-1519, doi: 10.1021/sc400093k.

Kuznetsov et Paulos, 2010 – Kuznetsov, S., et E. Paulos. *UpStream: Motivating Water Conservation with Low-Cost Water Flow Sensing and Persuasive Displays*, Pittsburgh, PA, Human-Computer Interaction Institute, Université Carnegie Mellon.

Laitner *et al.*, 2010 – Laitner, J.A., C.P. Knight, V.L. McKinney et K. Ehrhardt-Martinez. *Semiconductor Technologies: The Potential to Revolutionize U.S. Energy Productivity*, Washington, DC, American Council for an Energy-Efficient Economy.

Laitner *et al.,* 2012 – Laitner, J.A., B. Partridge et V. Vittore. *Measuring the Energy Reduction Impact of Selected Broadband-Enabled Activities Within Households*, Washington, DC, Yankee Group Research, Inc. et American Council for an Energy-Efficient Economy.

Lambert *et al.,* 1998 – Lambert, D.M., M.C. Cooper et J.D. Pagh. « Supply chain management: Implementation issues and research opportunities », *The International Journal of Logistics Management*, vol. 92, p. 1-20.

Larsen, 2003 – Larsen, K.T. *ICT in Urban Planning*, Aalborg, Danemark, Université d'Aalborg.

Leiner *et al.,*1997 – Leiner, B.M., V.G. Cerf, D.D. Clark, R.E. Kahn, L .Kleinrock, D.C. Lynch, . . . S.S. Wolff. « The past and future history of the Internet », *Communications of the ACM »,* vol. 402, p. 102-108.

Lemay *et al.*, 2012 – Lemay, M., K.K. Nguyen, B. St Arnaud et M. Cheriet. « Toward a zero-carbon network: Converging cloud computing and network virtualization », *Internet Computing, IEEE,* vol. 16, nº 6, p. 51-59.

Les fermes Lufa, 2013 – Les fermes Lufa. *Comment ça marche.* Adresse URL : http://montreal.lufa.com/fr/notre-ferme (dernière consultation : août 2013).

Levermore, 2002 – Levermore, G. *Building Energy Management Systems: An Application to Heating, Natural Ventilation, Lighting and Occupant Satisfaction*, Londres, Royaume-Uni, Routledge, Taylor & Francis Group.

Levin *et al.*, 2008 – Levin, A., M. Foster, B. West, M.J.T. Nicholson, T. Hernandez et W. Cukier. *The Next Digital Divide: Online Social Network Privacy*, Toronto, ON, Ted Rogers School of Management, Université Ryerson.

Levine *et al.*, 2007 – Levine, M., D. Ürge-Vorsatz, K. Blok, L. Geng, D. Harvey, S. Lang . . . A. Novikova. « Residential and Commercial Buildings », chapitre 6, dans Metz, D., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave et L.A. Meyer, *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, New York, NY, Cambridge University Press.

Liang, 2012 – Liang, S. *An Open Sensor Web for Open Science*, Calgary, AB, Département de génie géomatique, Université de Calgary.

Life Cycle Initiative, 2013 – Life Cycle Initiative. Social Life Cycle Assessment (SLCA). Adresse URL : http://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/life-cycle-approaches/social-lca/ (dernière consultation : août 2013).

Linden et Fenn, 2003 – Linden, A., et J. Fenn. *Understanding Gartner's Hype Cycles*, Stanford, CA, Gartner.

Ling *et al.*, 2007 – Ling, C., A. Ann Dale et K. Hanna. *Community Sustainability Planning Tool*, Victoria, CB, Université Royal Roads.

Lister et Harnish, 2011 – Lister, K., et T. Harnish. *Canada: The Bottom Line on Telework*, Calgary, AB, Telework Research Network.

LLGA, 2013 – LLGA. *See All Winning Solutions for 2013*. Adresse URL : http://www.llga.org/index.php (dernière consultation : décembre 2013).

Lockwood *et al.*, 2009 – Lockwood, A.H., K. Welker-Hood, M. Rauch et B. Gottlieb. *Coal's Assault on Human Health*, Washington, DC, Physicians for Social Responsibility.

LSE, 2012 – The London School of Economics and Political Science. *Five Minutes with Prabhakar Raghavan: Big Data and Social Science at Google*. Adresse URL : http://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2012/09/19/five-minutes-with-prabhakar-raghavan/ (dernière consultation : juin 2013).

MacDonald, 2013 – MacDonald, M. *Friday Fun: It's a Bus! It's a Tram! It's..... Vienna's New Public Transport*. Adresse URL : http://thecityfix.com/blog/friday-fun-its-a-bus-its-a-tram-itsviennas-new-public-transport/ (dernière consultation : août 2013).

Mackie *et al.*, 2012 – Mackie, P., J. Laird et D. Johnson. *Buses and Economic Growth*, Leeds, Royaume-Uni, Université de Leeds.

MacLean et St. Arnaud, 2008 – MacLean, D., et B. St. Arnaud. *ICTs, Innovation and the Challenge of Climate Change*, Ottawa, ON, IIDD.

Magill, 2013 – Magill, B. « Microgrids: Sandy Forced Cities to Rethink Power Supply », *Climate Central* (9 septembre).

Manyika *et al.*, 2011 – Manyika, J., M. Chui, B. Brown, J. Bughin, R. Dobbs, C. Roxburgh et A. Hung Byers. *Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity*, McKinsey Global Institute.

Marchet *et al.*, 2009 – Marchet, G., A. Perego et S. Perotti. « An exploratory study of ICT adoption in the Italian freight transportation industry », *International Journal of Physical Distribition and Logistics Management,* vol. 39, nº 9, p. 785-812.

Marks, 2013 – Marks P. « App Turns Smartphone Sensors Into Weather Stations », *New Scientist* (9 mai).

MaRS, 2012a – MaRS. *Ventures by the Numbers*, Toronto, ON, MaRS Discovery District.

MaRS, 2012b – MaRS. *2011/2012 Annual Report,* Toronto, ON, MaRS Discovery District.

MaRS, 2013 – MaRS. *New MaRS Investment Platform to Mobilize Private Capital for Public Good.* Adresse URL : http://www.marsdd.com/newsreleases/new-mars-investment-platform-mobilize-private-capital-public-good/ (dernière consultation : mars 2014).

MaRS Commons, 2013 – MaRS Commons. *The Data Visualizers.* Adresse URL : http://marscommons.marsdd.com/the-data-visualizers/market/ (dernière consultation : décembre 2013).

Mason *et al.*, 2003 – Mason, S.J., P.M. Ribera, J.A. Farris et R.G. Kirk. « Integrating the warehousing and transportation functions of the supply chain », *Transportation Research,* vol. 392, p. 141-159.

Mauree, 2011 – Mauree, V. *ICT as an Enabler for Smart Water Management*, Genève, Suisse, ITU Telecommunications Standardization Bureau.

Maxwell et McAndrew, 2011 – Maxwell, D., et M.L. McAndrew. *Addressing the Rebound Effect*, Ivy-sur-Seine, France, Commission européenne.

McKeown, 2007 – McKeown, D. *Air Pollution Burden of Illness for Traffic in Toronto,* Toronto, ON, Toronto Public Health.

McKinnon, 2009 – McKinnon, A. « Road Transport Optimization », chapitre 7, dans Water, D. (réd.), *Global Logistics: New Direction in Supply Chain Management*, Londres, Royaume-Uni, Kogan Page.

Mead et Brylewski, 2013 – Mead, K., et R. Brylewski, *Passivhaus Primer: Introduction. An Aid to Understanding the Key Principles of the Passivhaus Standard*, Watford, Royaume-Uni, Passivhaus.

Meadows, 2008 – Meadows, D. *Thinking in Systems: A Primer*, White River Junction, VT, Sustainability Institute.

Mell et Grance, 2011 – Mell, P., et T. Grance. *The NIST Definition of Cloud Computing.* Gaithersburg, MD, National Institute of Standards and Technology, Département américain du Commerce.

Meller et Ellis, 2013 – Meller, R.D., et K.P. Ellis. *Establishing the Physical Internet Based Logistics System Gain Potential for the U.S,* communication présentée à la réunion régionale de NASCO, Montréal, QC.

Merrell, 2009 – Merrell, R.C. « Telemedicine Is Green! », *Telemedicine and e-Health*, vol. 15, nº 8, p. 731-732.

Mignone *et al.*, 2008 – Mignone, J., H. Henley, J. Brown, J.O. Neil et W. Ross. *Information and Communication Technology in Aboriginal Communities in Canada: Increasing Aboriginal Social Capital. A Discussion Paper*, Winnipeg, MB, Université du Manitoba.

Ministre de la Justice, 2013a – Ministre de la Justice. *Loi fédérale sur le développement durable*, Ottawa, ON, gouvernement du Canada.

Ministre de la Justice, 2013b – Ministre de la Justice. *Règlement sur les émissions de gaz à effet de serre des automobiles à passagers et des camions légers,* Ottawa, ON, gouvernement du Canada.

Ministère de l'Énergie de l'Ontario, 2012a – Ministère de l'Énergie de l'Ontario. *Programme de tarifs de rachat garantis. Rapport d'examen biennal*, Toronto, ON, ministère de l'Énergie de l'Ontario.

Ministère de l'Énergie de l'Ontario, 2012b – Ministère de l'Énergie de l'Ontario. *Examen biennal du Programme de tarifs de rachat garantis.* Adresse URL : http://www.energy.gov.on.ca/fr/fit-and-microfit-program/2-year-fit-review/ (dernière consultation : juin 2012).

Ministère de l'Environnement, 2011 – Ministère de l'Environnement. *Air Quality in Ontario – Report for 2011*, Toronto, ON, ministère de l'Environnement.

Mirza, 2007 – Mirza, S. *Danger Ahead: The Coming Collapse of Canada's Municipal Infrastructure*, Ottawa, ON, Fédération canadienne des municipalités.

Molinari, 2012 – Molinari, F. *Living Labs and Pre Public Procurement,* communication présentée dans le cadre de la 1st International EIBURS-TAIPS TAIPS Conference, Urbino, Italie.

Montgomery, 2013 – Montgomery, D. « Calgarians Fight Disaster with Social Media », *Edmonton Journal* (2 juillet).

Montreuil, 2011 – Montreuil, B. *Towards a Physical Internet: Meeting the Global Logistics Sustainability Grand Challenge*, Montréal, QC, Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport.

Montreuil *et al.,* 2013 – Montreuil, B., R.D. Meller et E. Ballot. « Physical Internet Foundations », dans Borangiu, T., A. Thomas et D. Trenteseau, *Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics*, Berlin, Allemagne, Springer.

Moorhouse et Laufenberg, 2010 – Moorhouse, J., et K. Laufenberg. *Electric Vehicles: Powering the Future*, The Pembina Institute.

Morozov, 2011 – Morozov, E. *The Net Delusion: The Dark Side of Internet Freedom,* New York, NY, Public Affairs.

Mowery et Sampat, 2006 – Mowery, D.C., et B. Sampat. « Universities in National Innovation Systems », chapitre 8, dans Fagerberg,J., D.C. Mowery et R.R. Nelson, *The Oxford Handbook of Innovation*, Oxford, Royaume-Uni, Oxford University Press.

Murphy, 2007 – Murphy, L.B. « Locating social capital in resilient community-level emergency management », *Natural Hazards*, vol. 412, p. 297-315.

Nathwani et Blackstock, 2012 – Nathwani, J., et J. Blackstock. *Equinox Blueprint Energy 2030 – A Technological Roadmap for a Low-Carbon, Electrified Future*, Waterloo, ON, Waterloo Global Science Initiative.

National Geographic et GlobeScan Incorporated, 2012 – National Geographic et GlobeScan Incorporated. *Greendex 2012: Consumer Choice and the Environment – A Worldwide Tracking Survey*, Toronto, ON, National Geographic et GlobeScan Incorporated.

Nations Unies, 2003 – Nations Unies. *Environmental Monitoring*. Adresse URL : http://www.unescap.org/drpad/vc/orientation/M8_8.htm (dernière consultation : juin 2013).

NEPTUNE Canada, 2014 – NEPTUNE Canada. *Education and Outreach*. Adresse URL : http://www.neptunecanada.ca/education-outreach/ (dernière consultation : janvier 2014).

NETL, 2010 – National Energy Technology Laboratory. *Understanding the Benefits of the Smart Grid*, Washington, DC, Département américain de l'Énergie.

Network Computing, 2013 – Network Computing. *Data Center Operators Flock to Cold Climate*s. Adresse URL : http://www.networkcomputing.com/next-generation-data-center/news/servers/data-center-operators-flock-to-cold-clim/240162015 (dernière consultation : août 2013).

Niitamo *et al.,* 2012 – Niitamo, V.P., M. Westerlund et S. Leminen. « A small-firm perspective on the benefits of living labs », *Technology Innovation Management Review*, p. 44-49.

Nordicity et Ticoll, 2012 – Nordicity et D.Ticoll. *Supply/Demand Dynamics of Canada's Information and Communications Technology (ICT) Sector*, Ottawa, ON, Nordicity.

NWO, 2013 – Netherlands Organisation for Scientific Research. *Ordinary Citizens Empowered by Smart Network in Tanzania*. Adresse URL : http://www.nwo.nl/en/research-and-results/cases/ordinary-citizens-empowered-by-smart-network-in-tanzania.html (dernière consultation : juin 2013).

OCDE, 2009a – Organisation de coopération et de développement économiques. *Cloud Computing and Public Policy*, Paris, France, OCDE.

OCDE, 2009b – Organisation de coopération et de développement économiques. *Towards Green ICT Strategies: Assessing Policies and Programmes on ICT and the Environment*, Paris, France, OCDE.

OCDE, 2010a – Organisation de coopération et de développement économiques. *Greener and Smarter. ICTs, the Environment, and Climate Change*, Paris, France, OCDE.

OCDE, 2010b – Organisation de coopération et de développement économiques. *Examens territoriaux de l'OCDE, Toronto Canada 2009*, Paris, France, OCDE.

OCDE, 2013 – Organisation de coopération et de développement économiques. *Building Blocks for Smart Networks*, Paris, France, OCDE.

OCDE, s.d. – Organisation de coopération et de développement économiques. *Bases de données de brevets de l'OCDE*. Adresse URL : http://www.oecd.org/fr/sti/inno/ basesdedonneesdebrevetsdelocde.htm (dernière consultation : janvier 2014).

Oliver, 1997 – Oliver, C. « Sustainable competitive advantage: Combining institutional and resource-based views », *Strategic Management Journal,* vol. 18, nº 9, p. 697-713.

Omer et Polonetsky, 2012 – Omer, T., et J. Polonetsky. « Privacy in the age of big data. A time for big decisions », *Stafford Law Review* (2 février).

OMS, 2009 – Organisation mondiale de la Santé. *Milestones in Health Promotion. Statements from Global Conferences*, Genève, Suisse, OMS.

OMS, 1946 – Organisation mondiale de la Santé. « Constitution of the World Health Organization », *American Journal of Public Health and the Nations Health*, vol. 36, nº 11, p. 1315-1323.

ONE, 2011 – Office national de l'énergie. *Avenir énergétique du Canada 2013 – Offre et demande énergétiques à l'horizon 2035,* Ottawa, ON, Office national de l'énergie.

Ontario Smart Grid Forum, 2010 – Ontario Smart Grid Forum. *Enabling Tomorrow's Electricity System: Report of the Ontario Smart Grid Forum*, Toronto, ON, Independent Electricity System Operator.

Oracle, 2010 – Oracle. *Testing the Water: Smart Metering for Utilites,* Redwood Shores, CA, Oracle.

Organisation météorologique mondiale, s.d. – Organisation météorologique mondiale. *World Weather Watch (WWW)*. Adresse URL : http://www.wmo.int/pages/ prog/www/index_en.html (dernière consultation : octobre 2013).NEPTUNE Canada, 2012 – NEPTUNE Canada. *NEPTUNE Canada: An Invitation to Science*, Victoria, CB, Université de Victoria.

Orser *et al.*, 2012 – Orser, B., A. Riding et J. Stanley. « Perceived career challenges and response strategies of women in the advanced technology sector », *Entrepreneurship and Regional Development*, vol. 24, nº 1-2, p. 73-93.

Overeem *et al.*, 2013 – Overeem, A., J.C.R. Robinson, H. Leijnse, G.J. Steeneveld, B.K.P. Horn et R. Uijlenhoet. « Crowdsourcing urban air temperatures from smartphone battery temperatures », *Geophysical Research Letters,* vol. 40, nº 15, p. 4081-4085.

Park *et al.*, 2009 – Park, C.W., K.S. Kwon, W.B. Kim, B.K. Min, S.J. Park, I.H. Sung et J. Seok. « Energy consumption reduction technology in manufacturing – A selective review of policies, standards, and research », *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 10, nº 5, p. 151-173.

Partnership for 21st Century Skills, 2012 – Partnership for 21st Century Skills, *Framework for 21st Century Learning*. Adresse URL : http://www.p21.org/overview/skills-framework (dernière consultation : août 2013).

Perego *et al.*, 2011 – Perego, A., S. Perotti et R. Mangiaracina. « ICT for logistics and freight transportation: A literature review and research agenda », *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. 41, nº 5, p. 457-483, doi: 10.1108/09600031111138826.

Phoenix Strategic Perspectives Inc, 2012 – Phoenix Strategic Perspectives Inc. *Canadian Businesses and Privacy-Related Issues*, Ottawa, ON, Commissariat à la protection de la vie privée du Canada.

Pillman *et al.*, 2009 – Pillman, W., K.H. Simon et F. Perez-Trejo. *Framework and System Model of ICT in Environmental Sustainability*, Graz, Autriche, ICT-ENSURE Consortium.

PNUE, 2009 – Programme des Nations Unies pour l'Environnement. *Lignes directrices pour l'analyse sociale du cycle de vie des produits,* Genève, Suisse, PNUE.

PNUE, 2010 – Programme des Nations Unies pour l'Environnement. *Green Economy Developing Countries Success Stories*, Genève, Suisse, PNUE.

PNUE, 2011 – Programme des Nations Unies pour l'Environnement. *Vers une économie verte : Pour un* développement durable et une éradication *de la pauvreté,* Nairobi, Kenya, PNUE.

Pollin *et al.*, 2008 – Pollin, R., H. Garrett-Peltier, J. Heintz et H. Scharber. *Green Recovery*, Washington, DC, Center for American Progress.

Pollin et Garrett-Peltier, 2009 – Pollin, R., et H. Garrett-Peltier. *Building the Green Economy: Employment Effects of Green Energy Investments in Ontario*, Amherst, MA, WWF, Green Energy Act Alliance et Blue Green Canada.

Popp, 2010 – Popp, D. *Innovation and Climate Policy*, Cambridge, MA, National Bureau of Economic Research.

Popp, 2012 – Popp, D. *Role of Technological Change in Green Growth*, Syracuse, NY, Green Growth Knowledge Platform.

Porter, 1985 – Porter, M.E. *Competitive Advantage. Creating and Sustaining Superior Performance*, New York, NY, Free Press.

Power, 2008 – Power, M. « Peak Water: Aquifers and Rivers Are Running Dry. How Three Regions Are Coping », *Wired Magazine* (mai).

Prada et Santaguida, 2007 – Prada, G., et P. Santaguida. *Exploring Technological Innovation in Health Systems*, Ottawa, ON, Conference Board du Canada.

Prensky, 2001 – Prensky, M. « Digital natives, digital immigrants », *On the Horizon*, vol. 9, nº 5, p. 1-6, doi: 10.1108/10748120110424816.

Prism Economics and Analysis, 2009 – Prism Economics and Analysis. *Informatique de la santé et gestion de l'information sur la santé : Rapport sur les ressources humaines,* Toronto, ON, Inforoute Santé du Canada, CHIMA, COACH, ICTC et ACTI.

Prompt Inc. 2013 – Prompt Inc. *Equation: A Major Green ICT Initiative*, Montréal, QC, Prompt Inc.

Protti, 2007 – Protti, D. « Comparison of information technology in general practice in ten countries », *Healthcare Quarterly*, vol. 102, p. 107-116.

PTRC, 2013 – Petroleum Technology Research Centre. *Weyburn-Midal FAQs*. Adresse URL : http://ptrc.ca/projects/weyburn-midale/faqs (dernière consultation : août 2013).

Ragaini et Oudalov, 2012 – Ragaini, E., et A. Oudalov. *Microgrids: Buildings Blocks of the Smart Grid Adaptive Protection Schemes for Microgrids,* communication présentée dans le cadre de la 3rd IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies, Berlin, Allemagne.

Rand Corporation, 2005 – Rand Corporation. *Health Information Technology: Can HIT Lower Costs and Improve Quality?* Santa Monica, CA, RAND Corporation.

Renzetti et Dupont, 2013 – Renzetti, S., et D. Dupont. *Buried Treasure: The Economics of Leak Detection and Water Loss Prevention in Ontario*, St. Catherines, ON, Environmental Sustainability Research Centre et Département d'économique, Université Brock.

Resilient Communities Canada, s.d. – Resilient Communities Canada. *Welcome to Resilient Communities Canada.* Adresse URL : http://www.resilientcommunitiescanada.com/ (dernière consultation : juillet 2013).

Ressources naturelles Canada, 2011 – Ressources naturelles Canada. *Faits importants sur les ressources naturelles du Canada,* Ottawa, ON, Ressources naturelles Canada.

Ressources naturelles Canada, 2012 – Ressources naturelles Canada. *Évolution de l'efficacité énergétique au Canada de 1990 à 2009*, Ottawa, ON, Ressources naturelles Canada.

Ressources naturelles Canada, 2013 – Ressources naturelles Canada. À propos de l'énergie renouvelable. Adresse URL : https://www.rncan.gc.ca/energie/renouvelable-electricite/7296 (dernière consultation : février 2014).

Rintels, 2008 – Rintels, J. *Using Technology and Innovation to Address Our Nation's Critical Challenges*, Washington, DC, Benton Foundation.

Robinson, 2004 – Robinson, J. « Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development », *Ecological Economics,* vol. 48, nº 4, p. 369-384, doi: 10.1016/j.ecolecon.2003.10.017.

Robinson *et al.,* 2011 – Robinson, J., S. Talwar, M. O'Shea et M. Walsh. « Envisioning sustainability: Recent progress in the use of participatory backcasting approaches for sustainability research », *Technological Forecasting and Social Change,* vol. 78, nº 5, p. 756-768.

Robinson *et al.,* 2013a – Robinson, J., T. Berkhout, A. Cayuela et A. Campbell. « Next Generation Sustainability at The University of British Columbia: The University as Societal Test-Bed for Sustainability », dans König, A. (réd.), *Regenerative Sustainable Development of Universities and Cities: The Role of Living Laboratories*, Cheltenham, Royaume-Uni, Edward Elgar.

Robinson *et al.*, 2013b – Robinson, J., R. Cole, A. Cayuela et A. Kingstone. *The Centre for Interactive Research on Sustainability. UBC: Creating Net Positive Benefits at Multiple Scales,* communication présentée au Centre for Interactive Research on Sustainability, Vancouver, CB.

Robles *et al.*, 2011 – Robles, G., J. Gonzales-Barahona et J. Fernández-González. *New trends from libre software that may change education,* communication présentée dans le cadre de la Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2011, IEEE, Amman, Jordanie.

Roblin et Barrow, 2000 – Roblin, P., et D. Barrow. « Microsystems technology for remote monitoring and control in sustainable agricultural practices », *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 2, nº 5, p. 385-392.

Rodina *et al.*, 2003 – Rodina, E., V. Zeimpekis et K. Fouskas. *Remote Workforce Business Processes Integration Through Real-Time Mobile Communications,* communication présentée dans le cadre de la 2nd International Conference on Mobile Business, Vienne, Autriche.

Roseland, 2012 – Roseland, M. *Toward Sustainable Communities: Solutions for Citizens and Their Governments*, 4e édition, Gabriola Island, CB, New Society Publishers.

Royte, 2013 – Royte, E. « What lies ahead for 3-D printing? », *The Smithsonian Magazine* (mai).

Runnalls, 2011 – Runnalls, D. « Environment and economy: Joined at the hip or just strange bedfellows? », *S.A.P.I.EN.S*, vol. 42, p. 1-10.

Sadler *et al.,* 2005 – Sadler, E.J., R.G. Evans, K.C. Stone et C.R. Camp. « Opportunities for conservation with precision irrigation », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 60, nº 6, p. 371-378.

Santé Canada, 2001 – Santé Canada. *Strengthening Environmental and Occupational Health Surveillance in Canada*, Ottawa, ON, Santé Canada.

Santé Canada, 2004 – Santé Canada. *Répertoire des sources de données et des activités de surveillance fédérales, provinciales et territoriales portant sur l'hygiène du milieu et du travail,* Ottawa, ON, Santé Canada.

Schrank *et al.*, 2012 – Schrank, D., B. Eisele et T. Lomax. *TTI's 2012 Urban Mobility Report*, College Station, TX, Texas A&M Transportation Institute.

Sciadas, 2006 – Sciadas, G. *Our Lives in Digital Times*, Ottawa, ON, Statistique Canada.

Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, 2012 – Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. *Le ministre Clement annonce un nouveau Portail des données ouvertes*. Adresse URL : http://www.tbs-sct.gc.ca/media/nr-cp/2012/1024-fra.asp (dernière consultation : juin 2013).

Semeniuk, 2013 – Semeniuk, I. « Satellite Data Hinted at Alberta Floods Weeks Ago », *The Globe and Mail* (25 juin).

Sharpe et Andrews, 2012 – Sharpe, A., et B. Andrews. *The Canada-U.S. ICT Investment Gap in 2010: The Widening Continues*, Ottawa, ON, Centre d'étude des niveaux de vie.

Shenk, 2009 – Shenk, D. *Data Smog: Surviving the Information Glut*, New York, NY, HarperCollins.

Siemens AG, 2009 – Siemens AG. *Sustainable Urban Infrastructure*, Erlangen, Allemagne, Siemens AG.

Simpson, 2005 – Simpson, L. « Community informatics and sustainability: Why social capital matters », *The Jounal of Community Informatics*, vol. 12, p. 102-119.

Sizas et Bagley, 2004 – Sizas, I., et D.M. Bagley. « Experimental determination of energy content of unknown organics in municipal wastewater streams », *Journal of Environmental Engineering*, vol. 1302, p. 45-53.

SmartGrid Canada, 2012 – SmartGrid Canada. *The Canadian Consumer and Smart Grids – A Research Report*, Toronto, ON, SmartGrid Canada.

SmartGrids, 2010 – SmartGrids. *Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future*, Bruxelles, Belgique, SmartGrids.

Smith *et al.*, 2012 – Smith, I.G., O. Vermesan, P. Friess et A. Furness (réd.). *The Internet of Things 2012. New Horizons*, Halifax, Royaume-Uni, European Research Cluster on the Internet of Things.

SSIM, s.d. – SSIM. *Smart Sensors and Integrated Microsystems Robotic Surgery*. Adresse URL : http://www.ssim.eng.wayne.edu/fusion/robotic_surgery.asp (dernière consultation : septembre 2013).

Statistique Canada, 2012 – Statistique Canada. *Un portrait de l'agriculture canadienne*. Adresse URL : http://www.statcan.gc.ca/pub/95-640-x/2012002/00-fra.htm (dernière consultation : août 2013).

Statistique Canada, 2013a – Statistique Canada. *Tableau 282-0088. Enquête sur la population active (EPA), estimations selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), le sexe et le groupe d'âge*, Ottawa, ON, Statistique Canada.

Statistique Canada, 2013b – Statistique Canada. *Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, selon le Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN)*. Adresse URL : http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l01/cst01/econ41-fra.htm (dernière consultation : août 2013).

Statistique Canada, 2013c – Statistique Canada. *Tableau 477-0020. Diplômés postsecondaires, selon la Classification pancanadienne type de l'éducation (CPCTE), Classification des programmes d'enseignement, regroupement principal (CPE_RP), sexe et statut immigrant*. Adresse URL : http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a05?id=4770020&retrLang=fra&lang=fra (dernière consultation : janvier 2014).

Statistique Canada, 2013d – Statistique Canada. Tableau 153-0099. État de l'irrigation dans les fermes et superficie des cultures irriguées selon la province. Adresse URL : http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?id=1530099&pattern=&p2=31&stByVal=1&p1=1&tabMode=dataTable&paSer=&csid=&retrLang=fra&lang=fra (dernière consultation : février 2014).

Statistique Canada, 2013e – Statistique Canada. *Recensement de 2011 : Chiffres de la population et des logements*. Adresse URL : http://www.statcan.gc.ca/daily-quotidien/120208/dq120208a-fra.htm (dernière consultation : février 2013).

Statistique Canada, 2013f – Statistique Canada. *Effectifs postsecondaires, selon le régime d'études, Classification pancanadienne type de l'éducation (CPCTE), Classification des programmes d'enseignement, regroupement principal (CPE_RP), sexe et statut immigrant*. Adresse URL : http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a05?id= 4770019&retrLang=fra&lang=fra (dernière consultation : janvier 2014).

Staub-French et Khanzode, 2007 – Staub-French, S., et A. Khanzode. « 3D and 4D modeling for design and construction coordination: Issues and lessons learned », *ITcon*, vol. 12, p. 381-407.

Stern, 2006 – Stern, N. *Stern Review: The Economics of Climate Change*, Londres, Royaume-Uni, HM Treasury.

Stokes, 1997 – Stokes, D. *Pasteur's Quadrant. Basic Science and Technological Innovation*, Washington, DC, Brookings Institution Press.

Stoneman et Diederen, 1994 – Stoneman, P., et P. Diederen. « Technology diffusion and public policy », *The Economic Journal*, vol. 104, nº 425, p. 918-930.

Stuijt, 2003 – Stuijt, A. « 'Smart Levees' Predict Breaks 42 Hours in Advance », *Digital Journal* (21 mars).

Sunlight Foundation, 2010 – Sunlight Foundation. *Ten Principles for Opening Up Government Information*. Adresse URL : http://sunlightfoundation.com/policy/documents/ten-open-data-principles/ (dernière consultation : mai 2013).

Swaminathan et Sen, 1998 – Swaminathan, S., et R.K. Sen. *Review of Power Quality Applications of Energy Storage Systems*, Bethesda, MD, Département américain de l'Énergie.

Tanenbaum *et al.,* 2011 – Tanenbaum, J., A.N. Antle et J. Robinson. *Procedural Rhetoric Meets Emergent Dialogue: Interdisciplinary Perspectives on Persuasion and Behavior Change in Serious Games for Sustainability*, Vancouver, CB, Association of Internet Researchers.

TDDC, 2012 – Technologies du développement durable Canada. *Rapport annuel 2012 – Pour la mondialisation des technologies propres canadiennes*, Ottawa, ON, Technologies du développement durable Canada.

Techvibes, 2012 – Techvibes. *IBM Injects $90 Million into Canadian Data Centre*. Adresse URL : http://www.techvibes.com/blog/ibm-injects-90-million-into-canadian-data-centre-2012-09-21 (dernière consultation : janvier 2014).

TEEB, s.d. – The Economics of Ecosystems and Biodiversity. *About TEEB*. Adresse URL : http://www.teebweb.org/about/ (dernière consultation : juin 2013).

TELUS, 2012 – TELUS. *TELUS Breaks Ground on World-leading Kamloops Data Centre*. Adresse URL : http://about.telus.com/community/english/news_centre/news_ releases/blog/2012/06/29/telus-breaks-ground-on-world-leading-kamloops-data-centre (dernière consultation : août 2013).

Textor, 2010 – Textor, A.R. *Top Ten Cities with Best Public Transit Systems*. Adresse URL : http://www.gadling.com/2010/11/04/top-ten-cities-with-best-public-transit-systems/ (dernière consultation : octobre 2013).

Thaler et Sunstein, 2008 – Thaler, R.H., et C.R. Sunstein. *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness*, Toronto, ON, Penguin Books.

The Environics Institute, 2012 – The Environics Institute. *Climate Change: Do Canadians Still Care?* Toronto, ON, The Environics Institute.

The Green500, 2013 – The Green500. *The Green500 List – novembre 2013*. Adresse URL : http://www.green500.org/news/green500-list-november-2013?q=lists/green201311 (dernière consultation : décembre 2013).

The Seneca Centre for Development of Open Technology, 2013 – The Seneca Centre for Development of Open Technology. *Welcome to CDOT*. Adresse URL : http://zenit.senecac.on.ca/wiki/index.php/Main_Page (dernière consultation : février 2014).

Tong et Yang, 2009 – Tong, H., et Y.J. Yang. *Human Learning Behaviors Influenced by ICT,* communication présentée dans le cadre de l'IEEE International Symposium on IT in Medicine and Education, Jinan, Chine.

Top500 Supercomputer Sites, 2013 – Top500 Supercomputer Sites. *Sublist Generator*. Adresse URL : http://www.top500.org/statistics/sublist/ (dernière consultation : décembre 2013).

totallymotor.co.uk., 2008 – totallymotor.co.uk. *Underinflated Tyres Cost Motorists £1 billion*. Adresse URL : http://www.totallymotor.co.uk/new-car-news/2008/6/17/underinflated-tyres-cost-motorists-1-billion (dernière consultation : avril 2013).

Transports Canada, 2012a – Transports Canada. *Transport routier*. Adresse URL : http://www.tc.gc.ca/fra/politique/anre-menu-3042.htm (dernière consultation : février 2014).

Transports Canada, 2012b – Transports Canada. *Les transports au Canada 2011. Rapport approfondi*, Ottawa, ON, Transports Canada.

TPSGC, 2010 – Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. *Gazette du Canada, Partie 1*. vol. 144, Ottawa, ON, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada.

TPSGC, 2013 – Travaux publics et Services gouvernementaux Canada. *Lignes directrices sur l'élimination des équipements électroniques et électriques excédentaires du gouvernement fédéral*. Adresse URL : http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/ecologisation-greening/dechets-waste/dechets-waste-fra.html (dernière consultation : septembre 2013).

TRNEE, 2009 – Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie. *Franc Nord : Adaptation de l'infrastructure du Nord canadien au changement climatique*, Ottawa, ON, TRNEE.

TRNEE, 2010 – Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie. *Courants de changement : La pérennité de l'eau et des secteurs des ressources naturelles,* Ottawa, ON, TRNEE.

Tsang, 2009 – Tsang, A. *Identifying PEV Early Adopters and their Needs,* communication présentée dans le cadre de la Conférence sur les véhicules hybrides et électriques rechargeables, 2009, Montréal, QC.

Türk *et al.*, 2003 – Türk, V., M. Kuhndt, V. Alakeson, T. Aldrich, J.V. Geibler et P. Case. *The Environmental and Social Impacts of ebanking. A Case Study with Barclays PLC Final Report,* Information Society Technologies.

UIT, 2009 – Union internationale des télécommunications. *Focus Group on ICTs and Climate Change*. Adresse URL : https://www.itu.int/ITU-T/focusgroups/climate/ (dernière consultation : août 2013).

UNESCO, 2007 – Organisation des Nations Unies poir l'Éducation, la Science et la Culture. *The UNESCO ICT in Education Programme*, Bankok, Thaïlande, UNESCO.

Université de Newcastle, 2010 – Université de Newcastle. « Working from Home and Online Shopping Can Increase Carbon Emissions, UK Report Claims », *Science Daily* (22 septembre).

Université du Sussex, 2014 – Université du Sussex. *Mapping Rebound Effects from Sustainable Behaviour*. Adresse URL : http://www.sussex.ac.uk/sussexenergygroup/ research/slrg/mappingrebound (dernière consultation : mars 2014).

USAID, 2012 – USAID. *Building Resilience to Recurrent Crisis*, Washington, DC, USAID.

Van Praet, 2013 – Van Praet, N. « Ericsson to Spend $1.2-Billion to Build Massive Montreal-area R&D Centre », *Financial Post* (13 juin).

Veall, 2013 – Veall, M. *Labour "shortages" in a Globalized ICT Industry,* communication présentée dans le cadre de la 47e Conférence annuelle de l'Association canadienne d'économique, Montréal, QC.

Verdantix, 2010 – Verdantix. *The Telepresence Revolution*, Londres, Royaume-Uni, Carbon Disclosure Project.

Vereecken *et al.*, 2011 – Vereecken, W., W. Heddeghem, M. Deruyck, B. Puype, B. Lannoo, W. Joseph. . . . P. Demeester. « Power consumption in telecommunication networks: Overview and reduction strategies », *IEEE Communications Magazine,* vol. 49, no 6, p. 62-69, doi: 10.1109/mcom.2011.5783986.

Ville de Toronto, 2011 – Ville de Toronto. *Tower Renewal Implementation Book*, Toronto, ON, Ville de Toronto.

Ville de Toronto, s.d. – Ville de Toronto. Today's Air Quality Reading. Adresse URL : http://www1.toronto.ca/wps/portal/contentonly?vgnextoid=b9c593d7ceb31410VgnVCM10000071d60f89RCRD&vgnextchannel=4e9febfc2bb31410VgnVCM10000071d60f89RCRD&vgnextfmt=default (dernière consultation : août 2013).

Ville de Vancouver, 2012 – Ville de Vancouver. *Electric Vehicle Charging Requirements*. Adresse URL : http://vancouver.ca/home-property-development/electric-vehicle-charging-requirements.aspx (dernière consultation : février 2014).

Ville de Vancouver, 2013 – Ville de Vancouver. *Greenest City 2020 Action Plan*. Adresse URL : http://vancouver.ca/green-vancouver/greenest-city-2020-action-plan.aspx (dernière consultation : juillet 2013).

Wagner *et al.*, 2003 – Wagner, P., D. Banister, K. Dreborg, E. Eriksson, D. Stead et K. Weber. *Impacts of ICTs on Transport and Mobility (ICTRANS)*, Bruxelles, Belgique, Comission européenne.

Wallis, 2012 – Wallis, N. *Big Data in Canada: Challenging Complacency for Competitive Advantage*, Toronto, ON, Canadian Digital Media Network.

Walsh, 2011 – Walsh, T. *Unlocking the Gates: How and Why Leading Universities are Opening Access to their Courses*, Princeton, NJ, Princeton University Press.

Waterloo Institute for Sustainable Energy, 2012 – Waterloo Institute for Sustainable Energy. *Smart Energy Networks Infographic*, Waterloo, ON, Université de Waterloo.

Watson, 2008 – Watson, T. *CauseWired: Plugging In, Getting Involved, Changing the World*, Hoboken, NJ, Wiley.

WCED, 1987 – World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*, Oxford, Royaume-Uni, Oxford University Press.

Weis *et al.*, 2012 – Weis, T., B. Thibault, P.J. Partington, S. Gibson et K. Anderson. *The High Costs of Cheap Power: Pollution from Coal-Fired Electricity in Canada*, Drayton Valley, AB, The Pembina Institute.

Wellar, 1975 – Wellar, B. *Taking Steps Towards the End of the Automobile Era*, *Ottawa Citizen* (9 décembre).

White, 2010 – White, M. « Clicktivism is Ruining Leftist Activism », *The Guardian* (12 août).

Wien.at., s.d. – Wien.at. *Electric Buses for Vienna*. Adresse URL : http://www.wien.gv.at/english/transportation-urbanplanning/public-transport/electric-bus.html (dernière consultation : août 2013).

Wiener Linien, 2013 – Wiener Linien. *Facebook: Wiener Linien*. Adresse URL : https://www.facebook.com/wienerlinien (dernière consultation : août 2013).

Wognum *et al.*, 2011 – Wognum, P.M., H. Bremmers, J.H. Trienekens, J. van der Vorst et J.M. Bloemhof. « Systems for sustainability and transparency of food supply chains – Current status and challenges », *Advanced Engineering Informatics*, vol. 25, p. 65-76.

Wong *et al.*, 2013 – Wong, R., A. Goehner et M. McCulloch. *Net Greenhouse Gas Impact of Storing CO_2 Through Enhanced Oil Recovery (EOR)*, Drayton Valley, AB, Integrated CO_2 Network (ICO2N) et le Pembina Institute.

WWF-Canada, s.d. – Fonds mondial pour la nature. *Innovating Toward a Low-Carbon Canada: Using Technology to Transform Tomorrow*, Toronto, ON, WWF-Canada.

WWF-Suède, 2008 – Fonds mondial pour la nature. *The Potential Global CO_2 Reductions from ICT Use*, Solna, Suède, WWF-Suède.

Xerox, 2012 – Xerox. *The Future of Healthcare*. Adresse URL : http://visual.ly/future-healthcare (dernière consultation : octobre 2013).

Zeimpekis et Giaglis, 2006 – Zeimpekis, V., et G.M. Giaglis. « Urban dynamic real-time distribution services: Insights from SMEs », *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 19, no 4, p. 367-388.

Zelenika et Pearce, 2013 – Zelenika, I., et J.M. Pearce. « The Internet and other ICTs as tools and catalysts for sustainable development: Innovation for the 21st century », *Information Development,* vol. 29, nº 3, p. 1-16.

Zerger *et al.*, 2010 – Zerger, A., R.A. Viscarra Rossel, D. Swain, T. Wark, R. Handcock, V. Doerr, . . . C. Lobsey. « Environmental sensor networks for vegetation, animal and soil sciences », *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 12, no 5, p. 303-316.

Zhang, 2008 – Zhang, P. « Technical opinion motivational affordances: reasons for ICT design and use », *Communications of the ACM*, vol. 51, nº 11, p. 145-147.

Évaluations du Conseil des académies canadiennes

Les rapports d'évaluation ci-dessous peuvent être téléchargés depuis le site Web du CAC (www.sciencepourlepublic.ca) :

- Promouvoir la durabilité dans un monde interconnecté (2014)
- Incidences environnementales de l'extraction du gaz de schiste au Canada (2014)
- Sécurité alimentaire dans le Nord du Canada – État des connaissances (2014)
- Les sciences de la mer au Canada : Relever le défi, saisir l'opportunité (2013)
- Effets sur la santé de l'utilisation des armes à impulsions (2013)
- L'état de la R-D industrielle au Canada (2013)
- Incidences de l'innovation : mesure et évaluation (2013)
- L'eau et l'agriculture au Canada : vers une gestion durable des ressources en eau (2013)
- Renforcer la capacité de recherche du Canada : La dimension de genre (2012)
- L'état de la science et de la technologie au Canada, 2012 (2012)
- Éclairer les choix en matière de recherche : Indicateurs et décisions (2012)
- Nouvelles technologies et évaluation de la sécurité chimique (2012)
- Des animaux en santé, un Canada en santé (2011)
- La taxonomie canadienne : explorer la biodiversité, créer des possibilités (2010)
- Honnêteté, responsabilité et confiance : Promouvoir l'intégrité en recherche au Canada (2010)
- Meilleure recherche = Meilleur management (2009)
- La gestion durable des eaux souterraines au Canada (2009)
- Innovation et stratégies d'entreprise : pourquoi le Canada n'est pas à la hauteur (2009)
- Vision pour l'initiative canadienne de recherche dans l'Arctique – Évaluation des possibilités (2009)
- La production d'énergie à partir des hydrates de gaz – potentiel et défis pour le Canada (2008)
- Petit et différent : perspective scientifique sur les défis réglementaires du monde nanométrique (2008)
- La transmission du virus de la grippe et la contribution de l'équipement de protection respiratoire individuelle – Évaluation des données disponibles (2007)
- L'État de la science et de la technologie au Canada (2006)

Les évaluations suivantes font présentement l'objet de délibérations de comités d'experts :

- L'accès en temps opportun aux données sur la santé et sur les conditions sociales pour la recherche sur la santé et l'innovation du système de santé
- La capacité potentielle des technologies nouvelles et émergentes de réduire les incidences environnementales de l'exploitation des sables bitumineux

- La compétitivité de l'industrie canadienne au regard de l'utilisation de l'énergie
- L'avenir des modèles canadiens de maintien de l'ordre
- Les besoins futurs en compétences en STGM
- Les éoliennes, le bruit et la santé humaine
- Les institutions de la mémoire collective et la révolution numérique
- Les produits thérapeutiques pour les nourrissons, les enfants et les adolescents
- LES RISQUES : Le message passe-t-il?
- L'état de la culture scientifique au Canada

Conseil des gouverneurs du Conseil des académies canadiennes*

Margaret Bloodworth, C.M., présidente, ancienne sous-ministre au fédéral et conseillère nationale pour la sécurité (Ottawa, Ont.)

Graham Bell, MSRC, directeur de recherche, professeur titulaire de la chaire James McGill, Département de biologie, Université McGill (Montréal, Qc)

John Cairns, MACSS, président, Académie canadienne des sciences de la santé; professeur de médecine, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

Henry Friesen, C.C., MSRC, MACSS, vice-président, professeur émérite distingué et membre principal du Centre pour le progrès de la médecine, Faculté de médecine, Université du Manitoba (Winnipeg, Man.)

Carol P. Herbert, MACSS, professeure de médecine familiale, Université Western (London, Ont.)

Claude Jean, premier vice-président et directeur général, Teledyne DALSA, Semiconducteur (Bromont, Qc)

Peter MacKinnon, O.C., ancien président et vice-recteur, Université de la Saskatchewan (Saskatoon, Sask.)

Jeremy McNeil, MSRC, professeur invité Helen Battle, Département de biologie, Université Western (London, Ont.)

Axel Meisen, C.M., MACG, ancien président, Prévision, Alberta Innovates – Technology Futures (AITF) (Edmonton, Alb.)

Lydia Miljan, professeure agrégée en sciences politiques et directrice du programme des arts et des sciences, Université de Windsor (Windsor, Ont.)

Ted Morton, chercheur principal, École de politiques publiques, professeur de sciences politiques, Université de Calgary (Calgary, Alb.)

P. Kim Sturgess, MACG, présidente-directrice générale et fondatrice, Alberta WaterSMART (Calgary, Alb.)

*Renseignements à jour en janvier 2014

Comité consultatif scientifique du Conseil des académies canadiennes*

Susan A. McDaniel, MSRC, présidente, directrice de l'Institut Prentice; titulaire de la Chaire de recherche du canada de premier niveau sur la population mondiale et le cours de la vie; titulaire de la chaire de recherche Prentice en démographie et économie mondiales, professeure de sociologie, Université de Lethbridge (Lethbridge, Alb.)

Lorne Babiuk, O.C., MSRC, MACSS, vice-président à la recherche, Université de l'Alberta (Edmonton, Alb.)

Murray S. Campbell, premier responsable, Programme de recherche en analytique des affaires, Centre de recherche T.J. Watson d'IBM (Yorktown Heights, NY)

Marcel Côté, associé fondateur, SECOR inc. (Montréal, Qc)

Clarissa Desjardins, ancienne présidente-directrice générale, Centre d'excellence en médecine personnalisée (Montréal, Qc)

Jean Gray, C.M., MACSS, professeure émérite de médecine, Université Dalhousie (Halifax, N.-É.)

John Hepburn, MSRC, vice-président à la recherche et aux affaires internationales, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

Gregory S. Kealey, MSRC, professeur, Département d'histoire, Université du Nouveau-Brunswick (Fredericton, N.-B.)

Daniel Krewski, professeur d'épidémiologie et de médecine communautaire, directeur scientifique du Centre R. Samuel McLaughlin d'évaluation du risque sur la santé des populations, Université d'Ottawa (Ottawa, Ont.)

Avrim Lazar, ancien président et chef de la direction, Association des produits forestiers du Canada (Ottawa, Ont.)

Norbert Morgenstern, C.M., MSRC, MACG, professeur émérite d'université en génie civil, Université de l'Alberta (Edmonton, Alb.)

Sarah P. Otto, MSRC, professeure et directrice du Centre de recherche sur la biodiversité, Université de la Colombie-Britannique (Vancouver, C.-B.)

*Renseignements à jour en janvier 2014

Council of Canadian Academies
Conseil des académies canadiennes

Le conseil des académies canadiennes
180, rue Elgin, bureau 1401,
Ottawa (Ontario) Canada K2P 2K3
Tél : 613-567-5000
www.sciencepourlepublic.ca