AVANTAGES SOCIO-ÉCONOMIQUES DE L'UTILISATION DE L'ESPACE

RAPPORT FINAL

PRÉPARÉ PAR EUROCONSULT POUR L'AGENCE SPATIALE CANADIENNE

DOSSIER ASC nº 9F001-20170676

7 septembre 2018

COORDONNÉES

GESTIONNAIRE DE PROJET	**Adam Keith**, conseiller principal
ADRESSE	465, rue McGill, bureau 1103, Montréal (Québec)
TÉLÉPHONE	514-377-7709
COURRIEL	keith@euroconsult-na.com

Avantages socioéconomiques de l'utilisation de l'espace : rapport final.

Cat no: ST99-66/2019F-PDF

ISBN: 978-0-660-32352-7

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de l'Innovation, Sciences et Développement économique Canada, 2019.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE **8**
1. INTRODUCTION **14**
1.1 CONTEXTE DU PROJET 14
1.2 TÂCHES DE L'ÉTUDE 14
1.3 PROCESSUS DE CONSULTATION (TÂCHE 3) 15
1.4 CHOIX DES THÈMES 16
2. ANALYSE COMPARATIVE DES AVANTAGES ET DE L'UTILISATION AU CANADA **18**
2.1 AVANTAGES DISCUTÉS AU COURS DE L'ANALYSE 18
2.1.1 AVANTAGES QUANTITATIFS SÉLECTIFS 18
2.1.2 AVANTAGES QUALITATIFS SÉLECTIFS 20
2.2 SECTEURS CLÉS POUR LA CROISSANCE FUTURE 21
2.3 SOLUTIONS RETENUES 23
2.3.1 IMAGERIE (OBSERVATION DE LA TERRE) 23
2.3.1.1 Solutions actuelles 24
2.3.1.2 Solutions futures 24
2.3.1.3 Solutions de rechange 25
2.3.2 COMMUNICATIONS PAR SATELLITE 26
2.3.2.1 Solutions actuelles 26
2.3.2.2 Solutions futures 26
2.3.2.3 Solutions de rechange 27
2.3.3 NAVIGATION PAR SATELLITE 27
2.3.3.1 Solutions actuelles 28
2.3.3.2 Solutions futures 28
2.3.3.3 Solutions de rechange 28
2.4 OBSTACLES POTENTIELS À LA CROISSANCE FUTURE 28
2.4.1 IMAGERIE (OBSERVATION DE LA TERRE) 29
2.4.2 COMMUNICATIONS PAR SATELLITE 29
2.4.3 NAVIGATION PAR SATELLITE 30
3. UTILISATION ET AVANTAGES PAR SUJET **31**
3.1 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DE LA GESTION DES CATASTROPHES 31

3.1.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION 32
3.1.1.1 Communications par satellite 32
3.1.1.2 Imagerie (observation de la Terre) 35
3.1.1.3 Navigation par satellite 36
3.1.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LA GESTION DES CATASTROPHES AU CANADA 37
3.1.2.1 Gestion efficace des inondations 38
3.1.2.2 Tirer parti de la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » 38
3.1.2.3 Soutenir les efforts de secours internationaux 39
3.1.2.4 Éliminer l'aspect « recherche » des activités de recherche et sauvetage 41
3.1.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA 42
3.1.3.1 Solutions satellitaires 42
3.1.3.2 Solutions de rechange 42
3.1.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future 43
3.2 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DE L'AGRICULTURE 44
3.2.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION 45
3.2.1.1 Communications par satellite 45
3.2.1.2 Imagerie (observation de la Terre) 45
3.2.1.3 Navigation par satellite 47
3.2.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR L'AGRICULTURE AU CANADA 48
3.2.2.1 Amélioration de la gestion des terres 49
3.2.2.2 Permettre l'agriculture de précision grâce à la navigation par satellite 50
3.2.2.3 Nouvelle solution d'imagerie au service de l'agriculture de précision 52
3.2.2.4 Soutenir les pratiques agricoles 53
3.2.2.5 Appui à la politique nationale et à la réglementation agricole 55
3.2.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA 56
3.2.3.1 Solutions satellitaires 56
3.2.3.2 Solutions de rechange 57
3.2.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future 57
3.3 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DE LA GESTION DE LA CIRCULATION AÉRIENNE 59

3.3.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION 59
3.3.1.1 Communications par satellite 59
3.3.1.2 Imagerie (observation de la Terre) 60
3.3.1.3 Navigation par satellite 61
3.3.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LA GESTION DE LA CIRCULATION AÉRIENNE AU CANADA 62
3.3.2.1 Réduction des émissions de CO_2 par vol 63
3.3.2.2 Augmentation du trafic aérien au-dessus du Canada 64
3.3.2.3 Permettre aux compagnies aériennes d'offrir des itinéraires plus efficaces. 65
3.3.2.4 Amélioration de la sécurité des passagers 65
3.3.2.5 Amélioration de la rentabilité des compagnies aériennes 66
3.3.2.6 Se souvenir du rôle du GNSS 67
3.3.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA 68
3.3.3.1 Solutions par satellite 68
3.3.3.2 Solutions de rechange 68
3.3.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future 68
3.4 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DE LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT 69

3.4.1 ANALYSE DOCUMENTAIRE DE L'UTILISATION DE L'APPLICATION 70
3.4.1.1 Communications par satellite 70
3.4.1.2 Imagerie (observation de la Terre) 71
3.4.1.3 Navigation par satellite 72
3.4.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT AU CANADA72
3.4.2.1 Surveillance de l'environnement à l'appui des pratiques exemplaires en utilisation des terres 73
3.4.2.2 Repérer le transport maritime illégal 74
3.4.2.3 Accroître l'efficacité de l'industrie du transport maritime 75
3.4.2.4 Améliorer les prévisions météorologiques grâce à ARGO 76
3.4.2.5 Remise en état de sites miniers 77
3.4.2.6 Surveillance des schistes bitumineux 77
3.4.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA 78
3.4.3.1 Solutions par satellite 78
3.4.3.2 Solutions de rechange 78
3.4.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future 79
3.5 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES POUR LES COMMUNAUTÉS RURALES ET ÉLOIGNÉES 80
3.5.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION 82
3.5.1.1 Communications par satellite 82
3.5.1.2 Imagerie (observation de la Terre) 85
3.5.1.3 Navigation par satellite 85
3.5.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LES COLLECTIVITÉS RURALES ET ÉLOIGNÉES DU CANADA 85
3.5.2.1 Combler le fossé numérique entre les Canadiens ruraux et urbains 86
3.5.2.2 Soutenir l'économie canadienne 89
3.5.2.3 Soutenir la croissance de l'emploi au Canada 90
3.5.2.4 Améliorer l'éducation dans les collectivités nordiques 91
3.5.2.5 Une meilleure santé grâce à la télémédecine 92
3.5.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA 93
3.5.3.1 Solutions par satellite 93
3.5.3.2 Solutions de rechange 93
3.5.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future 95
3.6 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DANS LE DOMAINE DU TRANSPORT ET DE LA LOGISTIQUE 95

3.6.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION 97
3.6.1.1 Logistique maritime 98
3.6.1.2 Transport terrestre 100
3.6.1.3 Utilisation des terres par les consommateurs. 101
3.6.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LE TRANSPORT ET LA LOGISTIQUE AU CANADA 102
3.6.2.1 Améliorer l'utilisation des conteneurs maritimes 103
3.6.2.2 Réduire la consommation de carburant des camions 104
3.6.2.3 Optimisation des activités quotidiennes d'acheminement pour les Canadiens 105
3.6.2.4 Améliorer la surveillance des navires dans les eaux canadiennes 106
3.6.2.5 Soutenir la création d'emplois au Canada 107
3.6.2.6 Amélioration de la santé et de la condition physique des Canadiens 108
3.6.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA 108
3.6.3.1 Solutions par satellite 108
3.6.3.2 Solutions de rechange 109
3.6.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future 109

SOMMAIRE

CONTEXTE DU PROJET : L'objectif principal de l'étude « Avantages socio-économiques de l'utilisation de l'espace » est de quantifier et de qualifier la valeur socio-économique de l'espace et des activités terrestres connexes pour les Canadiens dans les principaux domaines d'application de l'imagerie (OT), des communications par satellite (SATCOM) et de la navigation par satellite (SATNAV). Elle présente des exemples précis fondés sur des domaines associés aux besoins des intervenants canadiens et quantifie/qualifie les avantages que procure l'utilisation de l'espace et la façon dont ceux-ci peuvent évoluer.

TÂCHES DE L'ÉTUDE : L'étude est divisée en cinq tâches, décrites ci-dessous :

> **Tâche 1 : SÉLECTION DES INDICATEURS ET DES THÈMES :** Sélectionner la liste des catégories, des thèmes et des indicateurs connexes qui fourniront un cadre pour l'analyse ultérieure des avantages.

> **Tâche 2 : ANALYSE DOCUMENTAIRE :** Fournir un résumé de l'utilisation des biens spatiaux par thème. Présenter un résumé du contexte d'utilisation au Canada, qui est examiné en détail dans les sections subséquentes.

> **Tâche 3 : COLLECTE DE DONNÉES SUR LES CAPACITÉS :** Recueillir de l'information relative aux indicateurs dans les domaines thématiques sélectionnés, principalement à partir d'entretiens avec des intervenants tiers et complétés par d'autres recherches documentaires. La tâche consiste à déterminer les secteurs de retombées, les besoins des intervenants et la façon dont les ressources spatiales ont été et sont utilisées pour appuyer les activités et les applications connexes.

> **Tâche 4 : ANALYSE DES AVANTAGES ET DES SOLUTIONS DE RECHANGE :** Examiner les avantages pour chacun des thèmes définis. Les indicateurs précis établis lors de la tâche 1 auront fait l'objet d'une recherche dans la tâche 3 et des mesures du rendement économique seront développées et présentées dans le rapport. Cette tâche permet de déterminer les avantages quantitatifs et qualitatifs des indicateurs en ce qui concerne l'utilisation des ressources spatiales.

> **Tâche 5 : CROISSANCE :** Déterminer le potentiel de croissance de l'utilisation par le gouvernement du Canada, le secteur privé et les populations du Canada des technologies et des applications spatiales pertinentes.

Une grande partie de l'activité d'analyse effectuée dans le cadre des tâches 4 et 5 porte sur l'information recueillie dans le cadre de la tâche 3, notamment par le biais du processus d'entrevue. Une fois que l'information sur chacun des thèmes individuels est recueillie, la rédaction prévue à la tâche 4 commence. De plus, un autre niveau de recherche documentaire est produit pour effectuer des analyses macroéconomiques relatives aux indicateurs d'avantages et au processus d'entrevue. Par exemple, si un avantage pour l'agriculture de l'Ontario est déterminé à l'étape de la collecte des données, il faut alors obtenir d'autres renseignements pour établir les avantages pour l'ensemble du Canada. Dans l'énoncé de travail original, les tâches 4 et 5 étaient présentées séparément. Toutefois, d'un point de vue pratique et logique, il était plus logique de regrouper ces éléments dans la même section du rapport afin de discuter à la fois des avantages et du potentiel de croissance future. Une section sommaire est ajoutée avant l'évaluation des avantages et présente tous les avantages évalués dans le cadre de l'étude (essentiellement les principaux extrants de l'étude).

PROCESSUS DE CONSULTATION : L'étude nécessite la sélection d'au moins six thèmes. Les thèmes retenus ont été choisis parce qu'ils sont étroitement liés aux domaines prioritaires du gouvernement fédéral, notamment en ce qui concerne les emplois et l'innovation, les infrastructures durables, l'environnement et les changements climatiques, la sûreté et la sécurité, la diversité et l'inclusion, et les peuples autochtones. Des entrevues ont ensuite été menées auprès des intervenants, des utilisateurs finaux et des fournisseurs de services relativement à ces domaines d'intérêt. Au total, 47 personnes ont été sollicitées pour des entrevues, ce qui a donné lieu à 23 consultations.

LES THÈMES ABORDÉS : Chacun des thèmes abordés est présenté séparément. On présente également un sommaire de la façon dont les ressources spatiales sont utilisées :

- **Gestion des catastrophes** : Dans l'étude réalisée en 2015 par Euroconsult pour le compte de l'ASC concernant l'« Étude environnementale relative au plan stratégique d'utilisation de l'espace », la gestion des catastrophes a été le premier domaine d'intérêt mondial, pour les gouvernements évalués, en matière d'utilisation des technologies spatiales. Cet intérêt se justifie par le fait que le sujet touche à la fois aux communications par satellite, à la navigation par satellite et à l'observation de la Terre; que des systèmes satellitaires plus performants permettent de mieux gérer les catastrophes et que le sujet compte parmi les intérêts politiques prioritaires des gouvernements.
- Le secteur de l'**agriculture** englobe à la fois la surveillance gouvernementale pour la production de rapports nationaux ou régionaux, et la surveillance commerciale à l'appui du secteur agrocommercial. Ce secteur s'adapte également aux nouvelles techniques agricoles pour rendre compte des enjeux tels que la santé des cultures, le rendement potentiel et les moyens d'accroître la productivité. Le secteur de l'agriculture de précision est en plein essor et permet aux agriculteurs d'utiliser de nouvelles technologies pour la gestion adaptée aux sites. Ces nouvelles technologies portent sur des facteurs comme l'irrigation, l'utilisation d'engrais et la détermination des zones problématiques ou à haut rendement. Les technologies satellitaires jouent leur rôle dans des activités telles que le suivi des véhicules par GPS et l'utilisation de l'imagerie.
- **Gestion du trafic aérien :** En 2016, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) estimait le nombre total de passagers transportés au cours de l'année à 3,7 milliards, chiffre qui devrait passer à 7,8 milliards en 2036. L'utilisation de l'espace sert étroitement les trois principes fondamentaux du contrôle de la circulation aérienne : communication, navigation et surveillance. Son utilisation principale est de fournir des données de navigation par satellite par l'intermédiaire des systèmes GNSS, de fournir aux avions des données de géolocalisation précises, ce qui permet aux pilotes de déterminer des itinéraires de voyage sûrs et efficaces. Les réseaux de communication par satellite créent des connexions pour la transmission de données entre les multiples parties concernées. Ils sont également utilisés pour établir le contact avec des aéronefs survolant des régions du globe difficiles à survoler, comme les océans.
- **La surveillance de l'environnement** est d'abord considérée comme une application de l'OT, mais on utilise également des communications à faible débit de données pour recueillir sur le terrain de l'information sur diverses variables environnementales, par exemple dans le cadre du programme ARGO, pour recueillir des données sur l'état des océans. Les changements climatiques demeurent au premier rang des priorités politiques des gouvernements, et les agences spatiales axées sur la R et D à l'échelle mondiale ont orienté certaines activités sur la collecte de données à l'appui de la surveillance de l'environnement. Le principal avantage est de pouvoir soutenir la politique gouvernementale visant à atténuer les impacts à court, moyen et long termes des changements

climatiques. Une surveillance plus localisée est nécessaire pour évaluer les activités des populations et de l'industrie et de mesurer l'impact qu'elles peuvent avoir sur l'environnement.

> **Collectivités rurales et éloignées** : La connectivité Internet à large bande est de plus en plus considérée comme un droit universel fondamental, les gouvernements, les institutions internationales et le secteur privé ayant largement reconnu l'importance de combler le fossé numérique pour favoriser la croissance économique et l'inclusion sociale. D'un point de vue purement économique, la croissance de la pénétration de l'Internet à large bande est associée à une croissance économique (PIB) plus forte dans les pays développés et en développement. Les satellites de télécommunications fournissent des services de connectivité voix et données à haut débit aux collectivités situées dans des régions éloignées ou à faible densité de population où les coûts de déploiement de systèmes de communication terrestres sont prohibitifs.

> **Transport/Logistique** : L'Internet des objets (IdO) permet de connecter des objets du quotidien, des machines industrielles, des véhicules, etc., et de modifier la manière dont les personnes, les entreprises ou les autres institutions interagissent avec leur environnement. Les interactions machine-machine sont utilisées par les équipements/capteurs à faible débit de données (LDR) pour le suivi des actifs, la télémétrie ou le contrôle et l'acquisition des données de surveillance (SCADA) qui sont fixés aux conteneurs, aux véhicules, aux pipelines et aux autres actifs fixes ou mobiles. L'augmentation de l'IdO au sol devrait stimuler la croissance des terminaux d'interaction machine-machine/IdO par satellite, permettant une connectivité à distance fiable pour un large éventail d'applications, comme les voitures connectées, le suivi de flotte, les applications industrielles, etc. Un marché connexe, exploitant les données de géolocalisation des puces GPS dans les produits électroniques grand public, sert de plate-forme pour le nombre croissant d'applications visant à améliorer le transport, la santé et le bien-être des personnes.

AVANTAGES POUR LES CANADIENS

Les avantages découlent principalement des contributions des utilisateurs finaux et des intervenants qui créent des solutions tirant parti des ressources spatiales. Lorsqu'il y a des avantages quantitatifs, les contributions peuvent être un ou plusieurs points de données pouvant être utilisés pour estimer les impacts globaux au Canada. Par exemple, si l'on connaît les points de données sur la connectivité à large bande de quelques collectivités nordiques au Canada, et que l'on recueille des données macroéconomiques plus vastes et des renseignements à l'appui, on peut élaborer des scénarios pour présenter une estimation des répercussions à l'échelle du Canada. De même, si l'on sait comment la navigation par satellite profite aux agriculteurs de l'Ontario et de l'Alberta, on peut faire des estimations pour le reste du Canada en saisissant des données supplémentaires sur les terres cultivées par province, les économies de coûts par type de culture, etc. Ces avantages quantitatifs sont décrits en détail dans la section « Avantages par thème » du présent rapport. Les évaluations qualitatives sont considérées d'égale importance. Même si tous les secteurs de retombées ne sont pas nécessairement chiffrés, il ne faut pas sous-estimer leur importance pour l'établissement de politiques et la prise de décisions au sein des ministères, pour le bien-être des Canadiens et pour le rayonnement du Canada dans le contexte international.

Avantages quantitatifs : Ces avantages sont mesurés en termes de valeur économique directe (en dollars) découlant de l'utilisation des ressources satellitaires dans le but d'accroître la rentabilité des pratiques commerciales au sens large et d'améliorer d'autres paramètres mesurables. Des exemples choisis d'avantages quantitatifs trouvés pour cette étude sont commentés ci-dessous :

> **Gestion des catastrophes** : Depuis sa création, le système de communication par satellite COSPAS-SARSAT a permis de sauver la vie de plus de 1 500 Canadiens et de plus de 32 000 personnes dans le monde.

- **Agriculture** : L'utilisation d'un équipement agricole muni d'un dispositif de navigation par satellite (GPS) pour soutenir l'agriculture de précision a permis aux agriculteurs d'économiser entre 500 et 550 millions de dollars par an grâce à l'amélioration du rendement et à l'utilisation plus efficace des semences, des engrais et de l'irrigation.
- **Surveillance de l'environnement :** Plus de 200 anomalies pétrolières ont été détectées par le Système de surveillance intégrée des pollueurs par les hydrocarbures (ISTOP) du Service canadien des glaces (SCG) entre 2013 et 2017, et 39 d'entre elles se sont révélées être des rejets par des navires océaniques.
- **Collectivités rurales et éloignées** : Les services à large bande par satellite ont ajouté environ 2,2 milliards de dollars au PIB du Canada entre 2008 et 2017.
- **Gestion du trafic aérien** : La réduction des contraintes d'espacement des vols permise par le système ADS-B satellitaire au-dessus de l'espace aérien canadien (Gander-Shanwick) permet d'économiser jusqu'à 450 litres de carburant par vol, ce qui représente des dizaines de millions de dollars en économies de coûts annuellement.
- **Transport/logistique** : Plus de 100 000 applications relatives à la santé et à la condition physique liées aux systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) ont été téléchargées par les utilisateurs canadiens de téléphones intelligents en mai 2018.

Avantages qualitatifs : Compte tenu de l'éventail des thèmes abordés dans cette étude, les avantages qualitatifs sont variés. Les avantages relatifs à la surveillance de l'environnement, qui sont principalement axés sur la recherche, sont très différents des avantages pour les collectivités rurales ou éloignées qui se concentrent sur les populations vivant dans ces régions. Voici quelques exemples tirés de cette étude :

- **Gestion des catastrophes** : Les données des satellites radar à synthèse d'ouverture (SAR) ont été utilisées pour surveiller et appuyer les opérations de secours lors des inondations de 2017 au Québec et pour aider le ministère de la Défense nationale (MDN) dans ses opérations terrestres.
- **Agriculture** : Les cartes agricoles fondées sur des données satellitaires sont parmi les plus téléchargées sur le portail de données ouvertes du gouvernement du Canada. Ces cartes appuient les décideurs et les agroentreprises à l'échelle du Canada.
- **Agriculture** : Appui aux politiques de gestion des terres partout au Canada. Par exemple, les avantages incluent une meilleure surveillance des zones sujettes aux inondations, une meilleure gestion du développement urbain en ce qui concerne la gestion de l'eau et l'aversion des risques dans les écosystèmes locaux en pleine évolution, etc.
- **Surveillance de l'environnement** : Contribuer à l'élaboration d'une réglementation réaliste que les industries minières pourront suivre afin d'atténuer les niveaux de bruit et de poussière et les impacts que cela pourrait avoir sur les populations fauniques locales.
- **Collectivités rurales et éloignées** : Les nouveaux systèmes et services par satellite améliorent considérablement la qualité, la tarification et la disponibilité des services à large bande, ce qui permet au gouvernement d'atteindre ses nouveaux objectifs en matière de large bande universelle.
- **Transport/logistique** : Plus de 23 millions de Canadiens profitent des applications GPS par satellite pour optimiser leurs itinéraires et leurs déplacements.

Domaines de croissance future : L'augmentation future de l'incidence des avantages des indicateurs évalués est en grande partie attribuable à l'introduction de nouvelles solutions satellitaires qui peuvent engendrer des avantages accrus dans les domaines d'application existants ou en expansion et faire augmenter les taux de pénétration des technologies existantes. Par exemple, le rôle de la navigation par

satellite dans l'agriculture de précision continue de croître parallèlement à son adoption croissante dans l'agro-industrie et à des facteurs externes à la technologie des satellites, comme un environnement macroéconomique en pleine évolution. Des exemples de croissance quantifiable sont présentés ci-dessous :

- **Agriculture** : En ce qui concerne l'utilisation de l'imagerie satellitaire en agriculture de précision, moins de 10 % des agriculteurs canadiens utilisent l'imagerie satellitaire à l'appui de leurs activités. L'augmentation des taux de pénétration à 25 % d'ici 2027 générerait des économies de coûts pour les agriculteurs variant entre 650 millions et 1,3 milliard de dollars, selon le type de culture. En outre, la pénétration accrue de la navigation par satellite dans l'agriculture de précision pourrait permettre de réaliser des économies de l'ordre de 800 millions de dollars par an d'ici 2027.
- **Collectivités rurales et éloignées** : Possibilité d'ajouter 2,7 milliards de dollars de plus à l'économie canadienne au cours de la prochaine décennie en augmentant la pénétration de la large bande dans les régions rurales et éloignées.
- **Collectivités rurales et éloignées** : La croissance de la pénétration de la large bande devrait également avoir d'autres effets positifs sur la santé et l'éducation. Les programmes gouvernementaux, comme le Programme d'enseignement à distance dans le Nord, comptent maintenant 35 élèves provenant de sept collectivités.
- **Gestion du trafic aérien** : Réduction cumulative potentielle de 27,6 millions de tonnes d'émissions d'équivalent CO_2 dans l'espace aérien sous contrôle canadien d'ici 2027 grâce à la mise en œuvre du système ADS-B, qui permet de choisir les routes aériennes les plus efficaces.
- **Gestion du trafic aérien :** La croissance anticipée de la circulation aérienne, rendue possible par l'utilisation du système ADS-B, engendrera une augmentation des recettes provenant des droits exigés par NavCanada, ce qui se traduira par des paiements de taxes estimés à 19 millions de dollars par année d'ici 2027.
- **Transport/logistique** : L'amélioration de l'utilisation des conteneurs rendue possible par l'IdO spatial aura des retombées positives de 170 millions de dollars pour l'industrie maritime canadienne d'ici 2025.

SOLUTIONS RETENUES

Les solutions satellitaires détaillées ci-dessous reflètent les principales données recueillies dans le cadre du processus de consultation. On s'attendrait à ce que d'autres ensembles de données soient utilisés en fonction des besoins spécifiques d'autres utilisateurs finaux.

Imagerie (observation de la Terre) : Diverses images satellitaires sont utilisées en fonction des domaines d'application spécifiques. Il y a un certain biais en faveur de l'utilisation de la série RADARSAT, car elle est gratuite pour le gouvernement. Il s'agit d'un outil clé dans certaines applications propres au Canada, comme la surveillance des glaces de mer. Les autres solutions satellitaires utilisées par les tierces parties sont variées, mais les budgets demeurent un problème. On a donc tendance à utiliser des ensembles de données librement accessibles, comme les séries Landsat et Sentinel. Le principal facteur qui détermine l'utilisation future est la possibilité d'avoir accès à une plus grande quantité d'images d'OT par satellite. Il ne s'agit pas nécessairement de remplacer une source d'imagerie par une autre, mais de compléter les solutions par une offre croissante et plus performante. Deux domaines sont notés : le lancement de la mission de la Constellation RADARSAT (MCR) et l'augmentation de la collecte de données qui en résultera, et la façon de tirer profit du lancement de constellations d'imagerie commerciale à faible coût. Des constellations de satellites à réobservation fréquente de mêmes cibles, comme Planet, devraient contribuer à la création

d'autres domaines d'application en offrant un accès accru à des données exemptes de nuages et à l'acquisition de données à une fréquence beaucoup plus élevée. Il faut également se demander comment toutes ces données seront gérées à l'avenir. On s'attend à ce que l'automatisation joue un rôle plus important, tout comme le rôle de l'intelligence artificielle dans la capacité à fournir des analyses prédictives.

Communications par satellite : Elles se concentrent sur trois domaines différents : la large bande par satellite est le principal outil satellitaire de soutien pour relier les collectivités rurales et éloignées; la technologie à faible débit de données appuie la transmission des données des flotteurs ARGO et des balises COSPAS-SARSAT ainsi que la transmission à l'appui de l'IdO; et la retransmission des données des signaux ADS-B qui utilisent la technologie GPS pour transmettre les coordonnées d'un avion. Le haut débit est principalement basé sur des solutions satellitaires fixes, avec des constellations en orbite terrestre basse (LEO) qui devraient augmenter la capacité dans un avenir proche. La transmission à faible débit de données utilise des charges utiles sur des satellites fonctionnant sur différentes orbites. On s'attend à ce que la prochaine génération de satellites à haut débit (SHD) réduise davantage le coût des services à large bande et augmente le débit disponible au Canada, ce qui permettra d'appuyer les collectivités rurales et éloignées. La qualité du service devrait également s'améliorer : de nouveaux projets de Télésat, Oneweb et SpaceX prévoient offrir des services à large bande à haute vitesse et à faible latence uniformes aux consommateurs des régions rurales et éloignées. La connectivité des objets, également connue sous l'acronyme IdO (pour Internet des objets), est considérée comme un domaine en émergence rapide, et des entreprises canadiennes participent au développement de solutions et d'infrastructures spatiales. Plusieurs nouvelles constellations de satellites devraient voir le jour, notamment celles des jeunes entreprises canadiennes Helios Wire et Kepler Communications.

Navigation par satellite : La navigation par satellite met à profit des réseaux mondiaux de satellites pour trianguler les positions : il est question ici d'un système mondial de navigation par satellite (GNSS). L'U.S. Air Force a exploité le Global Positioning System, ou GPS, qui est le réseau le plus utilisé à des fins civiles et commerciales. Le système russe GLONASS, et le système chinois BeiDou, sont davantage utilisés localement (et aussi par les gouvernements respectifs), et le système européen Galileo devrait être pleinement opérationnel d'ici 2020. La technologie ADS-B s'appuie sur le GNSS pour recueillir les données de positionnement des aéronefs, lesquelles données sont ensuite transmises au sol . Au Canada, le GPS américain est le réseau GNSS utilisé quasi exclusivement pour appuyer les applications de télémesure, des appareils de navigation personnels à ceux de la Défense, en passant par le CTA des aéronefs et le soutien à l'agriculture de précision dans le cadre de la présente étude. La technologie des transpondeurs ADS-B fonctionne grâce à des émetteurs et à des récepteurs installés à bord des avions. Ceux-ci relaient en temps réel, par communications par satellite, les informations émises par les avions. Le système de distribution de données ADS-B s'appuie sur les satellites GNSS comme intrant principal. Ce genre de systèmes fait maintenant son entrée sur le marché, comme Aireon, et ils sont dotés de charges utiles embarquées sur la constellation Iridium NEXT. Ce système sera pleinement opérationnel lorsque les satellites Iridium NEXT restants seront lancés en 2018.

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DU PROJET

L'objectif principal de l'étude « Avantages socio-économiques de l'utilisation de l'espace » est de quantifier et de qualifier la valeur socio-économique de l'espace et des activités terrestres connexes pour les Canadiens dans les principaux domaines d'application de l'observation terrestre (OT), des communications par satellite (SATCOM) et de la navigation par satellite (SATNAV). Elle présente des exemples précis fondés sur des domaines associés aux besoins des intervenants canadiens, et elle quantifie/qualifie les avantages que procure l'utilisation de l'espace et la façon dont celle-ci peut évoluer à l'avenir. À cet égard, l'étude appuiera la prise de décisions sur les orientations futures du programme spatial et du secteur spatial du Canada, notamment dans la perspective du mandat de l'Agence spatiale canadienne (ASC), qui est de veiller à ce que les sciences et technologies spatiales procurent des avantages sociaux et économiques aux Canadiens.

L'espace est de plus en plus reconnu pour son rôle de catalyseur d'avantages socio-économiques pour les populations, les industries/entreprises, les gouvernements et autres intervenants. À mesure que de nouvelles solutions sont offertes, tant par le gouvernement que par le secteur commercial, l'industrie fait des gains de plus en plus grands sur les plans des avantages et de l'efficacité, ce qui appuie les politiques gouvernementales, atténue les risques perçus et appuie des aspects tels que la sûreté, la sécurité, la surveillance environnementale, etc. Ces solutions spatiales, et la façon dont elles sont utilisées, peuvent également présenter des avantages par rapport aux solutions terrestres actuelles (économies de coûts, couverture de zone, réactivité, redondance, etc.). Pour cette raison, elles se doivent d'être explorées.

Le présent rapport tient compte des consultations avec l'industrie et des recommandations subséquentes pour l'industrie spatiale et l'élaboration de politiques au Canada, ainsi que du rapport du Conseil consultatif de l'espace (CCE), du rapport sur l'évaluation du secteur d'activité Observation de la Terre de la Direction de la vérification et de l'évaluation de l'ASC et de l'environnement changeant de l'industrie spatiale découlant de ce qu'on appelle le nouveau phénomène spatial (et du nombre croissant de données disponibles qui devrait accompagner ce rapport). L'étude s'appuie également sur des travaux antérieurs menés par Euroconsult pour le compte de l'ASC, notamment les rapports intitulés « Évaluation détaillée des répercussions socioéconomiques du secteur spatial canadien », qui porte sur la « valeur » des activités spatiales au Canada, et l'Étude environnementale relative au plan stratégique d'utilisation de l'espace, qui évalue l'utilisation des ressources spatiales dans le monde.

1.2 TÂCHES DE L'ÉTUDE

L'étude est divisée en cinq tâches, décrites ci-dessous. Un rapport provisoire a été remis à l'ASC après l'achèvement des deux premières tâches. L'examen à mi-parcours de l'étude a été effectué pendant le processus de consultation de la tâche 3. Ce rapport final suit l'achèvement de toutes les tâches.

> **Tâche 1 : SÉLECTION DES INDICATEURS ET DES THÈMES**
  L'objectif est d'établir la liste des catégories, des thèmes et des indicateurs connexes qui serviront de cadre pour l'analyse des avantages et les tâches subséquentes de l'étude. Afin de mieux orienter l'étude, le choix des thèmes proposés à l'ASC constitue la première étape, car il guide l'analyse documentaire de la tâche suivante et les indicateurs qui seront fondés sur ces sujets.

> **Tâche 2 : ANALYSE DOCUMENTAIRE**

L'analyse documentaire fournit un résumé de l'utilisation des ressources spatiales par thème. L'analyse porte sur l'utilisation des ressources et des données spatiales par le gouvernement et le secteur privé. Elle est divisée en sections distinctes portant sur l'OT, les communications par satellite et la navigation par satellite. Par contre, certains thèmes concernent davantage certaines applications spatiales que d'autres; ainsi, certains thèmes sont plus axés sur les communications par satellite, alors que d'autres touchent davantage à l'OT, etc. L'analyse présente également un résumé du contexte d'utilisation au Canada, qui sera examiné de façon beaucoup plus détaillée dans les sections suivantes. Les ressources utilisées pour compléter l'analyse documentaire comprennent l'information publique externe, les divulgations de l'ASC et l'information interne d'Euroconsult fondée sur des études antérieures et des recherches sur le secteur spatial.

> **Tâche 3 : COLLECTE DE DONNÉES SUR LES CAPACITÉS**
L'objectif principal de la tâche 3 est la collecte et l'organisation de l'information concernant les indicateurs dans les domaines thématiques sélectionnés. Les données seront recueillies principalement au moyen d'entrevues avec des intervenants tiers ayant de l'expérience dans chacun des thèmes sélectionnés, et seront complétées par d'autres recherches documentaires. Cette tâche consiste également à déterminer les secteurs de retombées, les besoins des intervenants et la façon dont les ressources spatiales ont été et sont utilisées pour appuyer les activités et les applications connexes. Elle permettra d'évaluer la façon dont les besoins futurs pourraient changer et quelles ressources à venir devraient être utilisées (et comment), afin d'appuyer les autres tâches. Enfin, elle permettra de déterminer quelles solutions non spatiales sont utilisées et quels sont les avantages relatifs qu'offrent les ressources spatiales.

> **Tâche 4 : ANALYSE DES AVANTAGES ET DES SOLUTIONS DE RECHANGE**
L'objectif principal de la tâche 4 est d'effectuer une analyse des avantages pour chacun des thèmes définis. Les indicateurs précis établis lors de la tâche 1 auront fait l'objet d'une recherche dans la tâche 3, et des mesures du rendement économique seront développées en Excel et présentées dans le rapport. Cette tâche permet de déterminer les avantages quantitatifs et qualitatifs des indicateurs en ce qui concerne l'utilisation des ressources spatiales. Elle visera à fournir des informations claires sur les avantages générés par les ressources spatiales dans des cas précis. On se concentra en particulier sur les avantages additionnels qu'offrent les ressources spatiales lors de l'utilisation d'autres solutions terrestres en ce qui concerne la prestation de données et l'exécution des tâches souhaitées. On envisage également de préparer des études de cas sur les avantages que présente l'utilisation de l'espace pour les différents thèmes.

> **Tâche 5 : CROISSANCE**
L'objectif de la tâche 5 est de déterminer le potentiel de croissance de la dépendance du gouvernement canadien, du secteur privé et des populations à l'égard des technologies et applications spatiales pertinentes (OT, télécommunications par satellite et navigation par satellite). La croissance prospective des sujets/indicateurs doit être fournie sur un horizon temporel de 10 ans et faire l'objet d'une évaluation à la lumière des avantages sociaux et économiques en tenant compte des indicateurs quantitatifs et qualitatifs évalués dans les tâches précédentes.

1.3 PROCESSUS DE CONSULTATION (TÂCHE 3)

L'accès à des entrevues avec les principaux intervenants et utilisateurs finaux constitue un élément clé de la collecte d'information, et même un facteur important de la réussite de l'étude. Les intervenants doivent définir les listes d'avantages décrites dans les tâches 1 et 2, puisque l'intention de l'étude est d'évaluer les

avantages associés aux indicateurs déterminés dans les deux premières tâches au cours de la deuxième moitié de l'étude. Cette évaluation constitue l'essentiel de l'analyse des tâches 3 et 4.

Aux fins de l'étude, 47 personnes ont été approchées pour des entrevues. De ce nombre, 22 ont accepté de participer à des entrevues distinctes et les résultats ont été intégrés au rapport final. Cela représente un taux de réussite de 47 %. C'est un résultat un peu faible pour une étude gouvernementale. Dans certains cas, il a été difficile d'identifier la bonne personne au sein d'une organisation et de joindre différents groupes, dont certains n'étaient pas connus d'Euroconsult. Dans l'ensemble, d'après les expériences antérieures d'Euroconsult dans la conduite de campagnes de consultation au nom de l'ASC, le processus a pris plus de temps que prévu. Après l'envoi initial des courriels, il n'y a eu qu'une poignée d'appels confirmés, ce qui a nécessité un certain suivi pour obtenir d'autres confirmations. Il convient également de noter que plusieurs personnes interrogées ont gracieusement accepté de recommander d'autres personnes à interviewer.

Certains secteurs étaient également plus simples (p. ex., agriculture et surveillance de l'environnement), tandis que d'autres (transports, contrôle du trafic aérien) étaient plus difficiles à cerner. Dans ces cas, la difficulté résidait dans le fait qu'il était difficile d'identifier la personne qui, au sein des grandes organisations, est responsable de l'utilisation des satellites. Heureusement, des secteurs tels que le contrôle du trafic aérien disposent de plus d'informations publiques sur les avantages découlant de recherches, ou sont des marchés sur lesquels Euroconsult a développé des connaissances internes dans le cadre de ses activités de recherche en cours. Le tableau ci-dessous donne un aperçu des entrevues réalisées.

ENTREVUES TERMINÉES

THÈME	INTERVENANT
GESTION DES CATASTROPHES	CENTRE CANADIEN DE CARTOGRAPHIE ET D'OBSERVATION DE LA TERRE DE RNCAN UTILISATION DE L'ESPACE DE L'ASC (CHARTE INTERNATIONALE) SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA (UTILISATION DE COSPAS SARSAT) SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA (RESPONSABLE TECHNIQUE)
AGRICULTURE	AAC FARMERS EDGE MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION ET DES AFFAIRES RURALES (RESPONSABLE DES RESSOURCES) MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION ET DES AFFAIRES RURALES (GROUPE DE L'AGRICULTURE DE PRÉCISION)
CONTRÔLE DU TRAFIC AÉRIEN	AIREON NAV CANADA WESTJET
SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT	GOUVERNEMENT DE L'ALBERTA (PLUSIEURS MINISTÈRES) RNCAN SERVICES CANADIENS DES GLACES D'ECCC MPO (SYSTÈME ARGO)
COLLECTIVITÉS RURALES ET ÉLOIGNÉES	XPLORNET SSi MICRO NORTHWESTEL SWIFT
TRANSPORT/LOGISTIQUE (IdO)	KEPLER COMMUNICATIONS FEDNAV

1.4 CHOIX DES THÈMES

L'étude exige une sélection d'au moins six thèmes pour lesquels au moins deux indicateurs quantitatifs et deux indicateurs qualitatifs doivent être déterminés pour une évaluation future. Les thèmes retenus ont été choisis parce qu'ils sont étroitement liés aux domaines prioritaires du gouvernement fédéral, notamment en ce qui concerne les emplois et l'innovation, les infrastructures durables, l'environnement et les changements climatiques, la sûreté et la sécurité, la diversité et l'inclusion, et les peuples autochtones. Afin de couvrir tous les types d'utilisation de l'espace, les thèmes ont été choisis parmi une gamme de catégories afin que l'on puisse traiter adéquatement ces domaines prioritaires. Chaque domaine d'application de l'OT, des communications par satellite et de la navigation par satellite doit également être couvert.

Dans l'énoncé des travaux, certaines suggestions ont été faites quant aux thèmes qui pourraient être abordés. Les thèmes suivants ont été retenus suite à une collaboration entre l'ASC et Euroconsult. Les indicateurs choisis couvrent les six catégories décrites dans l'énoncé des travaux : souveraineté et sécurité, infrastructure, gestion de l'environnement, Internet des objets (IdO) et communautés éloignées. Les thèmes choisis sont parfois des regroupements de sujets multiples tels que décrits dans l'énoncé des travaux afin de former un thème plus général. Les thèmes portent également sur l'adaptation de l'imagerie (OT), la navigation par satellite et les communications par satellite, ainsi que sur les endroits où les missions spatiales canadiennes actuelles et futures peuvent être utilisées. Le tableau ci-dessous détermine et décrit brièvement les thèmes abordés dans cette étude.

THÈMES SÉLECTIONNÉS

THÈME	SOMMAIRE
GESTION DES CATASTROPHES	• En ce qui concerne principalement la catégorie souveraineté/sécurité, ce thème présente des applications utilisées à la fois pour l'OT, les communications par satellite et la navigation par satellite. Le thème couvre les aspects de l'atténuation des catastrophes, des secours et des activités de recherche et de sauvetage.
AGRICULTURE	• Dans la catégorie des ressources, ce thème porte principalement sur les applications de l'OT et de la navigation par satellite, avec un accent particulier sur l'agriculture de précision, même si l'utilisation plus large et les avantages pour les activités agricoles générales sont également évalués.
CONTRÔLE DU TRAFIC AÉRIEN	• Ce thème, lié à la catégorie de l'infrastructure (transport), porte plus précisément sur les solutions hybrides futures en matière de communications par satellite et de navigation par satellite, avec une certaine considération accordée à l'utilisation des données d'OT.
SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT	• Dans la catégorie de la gestion de l'environnement, la surveillance de l'environnement traite de l'utilisation des activités d'OT, de communications par satellite et de navigation par satellite, avec un accent particulier sur la surveillance des écosystèmes, la surveillance des glaces et les aspects de la responsabilité sociale des entreprises dans des secteurs comme les industries pétrolière, gazière et minière.
COLLECTIVITÉS RURALES ET ÉLOIGNÉES	• En ce qui concerne l'infrastructure (réseau fédérateur) et les collectivités éloignées, ce thème porte uniquement sur l'utilisation des satellites pour la prestation de services Internet à large bande dans les collectivités rurales et éloignées.
TRANSPORT/LOGISTIQUE (IdO)	• Ce thème fourre-tout traite de l'utilisation de la connectivité Internet des objets (IdO) dans l'optique du transport et de la logistique, que ce soit en mer (maritime) ou sur terre (camionnage ou usage personnel). Le thème est axé sur les applications liées principalement aux communications par satellite et à la navigation par satellite, souvent en termes de solutions hybrides.

Ces thèmes sont au cœur de l'étude qui suit. Ainsi, dans la première tâche, l'analyse documentaire est axée sur l'utilisation de l'espace dans ces domaines, avec une section spécifique sur l'utilisation au Canada.

2. ANALYSE COMPARATIVE DES AVANTAGES ET DE L'UTILISATION AU CANADA

2.1 AVANTAGES DISCUTÉS AU COURS DE L'ANALYSE

Les exemples d'avantages présentés dans les pages qui suivent reposent principalement sur les contributions des utilisateurs finaux et des intervenants qui utilisent des solutions basées sur des ressources spatiales pour appuyer leurs activités. Lorsqu'il y a des avantages quantitatifs, les intrants principaux peuvent être un ou plusieurs points de données qui peuvent être utilisés pour estimer les répercussions générales à l'échelle du Canada. Par exemple, si l'on connaît les points de données sur la connectivité à large bande de quelques collectivités nordiques au Canada, et que l'on recueille des données macroéconomiques plus vastes et des renseignements à l'appui, on peut élaborer des scénarios pour présenter une estimation des répercussions à l'échelle du Canada. De même, si l'on sait comment la navigation par satellite profite aux agriculteurs de l'Ontario et de l'Alberta, on peut faire des estimations pour le reste du Canada en saisissant des données supplémentaires sur les terres cultivées par province, les économies de coûts par type de culture, etc. Ces avantages quantitatifs sont décrits en détail dans la section « Avantages par thème » du présent rapport.

Les évaluations qualitatives sont considérées comme ayant une importance égale. Même si tous les secteurs de retombées ne sont pas nécessairement chiffrés, il ne faut pas sous-estimer leur importance pour l'établissement de politiques et la prise de décisions au sein des ministères pour le bien-être des Canadiens et le rayonnement du Canada dans le contexte international. Dans certains cas, il serait possible d'évaluer les avantages qualitatifs en mesurant, en premier lieu, l'argent économisé/les coûts évités, mais d'autres points de données qui n'ont pu être recueillis lors des entrevues seraient nécessaires. Ces avantages ne sont certainement pas exhaustifs pour chaque thème évalué, et ils sont en quelque sorte guidés par l'information qui a pu être recueillie au cours du processus de consultation.

Il y a un certain biais associé à la maturité de certains thèmes et à l'adaptation de l'utilisation des ressources spatiales dans ces domaines. Des thèmes comme l'agriculture et la gestion des catastrophes sont, par exemple, des domaines dans lesquels la technologie spatiale est utilisée depuis longtemps. Il existe donc actuellement plusieurs secteurs de retombées quantitatifs et qualitatifs. Des thèmes comme le transport et la logistique, qui s'appuient sur une technologie de l'IdO plus récente, ont des applications moins développées. Ainsi, les avantages sont donc aujourd'hui plus limités; l'accent est davantage mis ici sur le potentiel des avantages futurs.

2.1.1 AVANTAGES QUANTITATIFS SÉLECTIFS

Les avantages quantitatifs sont évalués en fonction de la valeur économique directe (mesurée en dollars) qu'apporte l'utilisation d'actifs satellitaires afin de rendre plus rentables certaines pratiques commerciales élargies, d'appuyer et d'autoriser une rentabilité par l'évitement mesurable des coûts, etc. Les avantages mesurables non liés à l'argent sont liés au nombre de situations ayant une incidence, c.-à-d., le nombre de vies sauvées grâce au système COSPAS-SARSAT, ou le nombre validé de cas de déversements d'hydrocarbures découlant de l'initiative ISTOP.

Lorsqu'il existe des intérêts commerciaux étroitement liés aux thèmes évalués, il y a également un biais en faveur de données plus quantifiables. Par exemple, en mesurant les économies de coûts pour le secteur agricole, l'industrie du transport maritime, les entreprises par le biais de la connectivité, etc. Cela se reflète dans les processus de consultation. Les entrevues avec les personnes qui travaillent dans le secteur privé ou avec le secteur privé ont tendance à mener à des indicateurs quantitatifs mesurables en dollars.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES QUANTITATIFS SÉLECTIFS

TYPE	THÈME		AVANTAGE
MESURÉS EN DOLLARS.	GC	SOUTIEN AUX OPÉRATIONS DE RECHERCHE ET SAUVETAGE	• Le gouvernement canadien a économisé 10 millions de dollars par an dans les opérations de recherche et sauvetage grâce au système COSPAS-SARSAT qui a permis des recherches plus rapides.
	Ag	AMÉLIORATION DES PRATIQUES AGRICOLES	• Au cours des cinq dernières années, les gouvernements provinciaux ont économisé 75 millions de dollars en améliorant les pratiques agricoles afin de prévenir l'érosion des sols grâce à l'imagerie satellitaire.
	Ag	UTILISATION DE L'AGRICULTURE DE PRÉCISION	• L'utilisation d'un équipement agricole muni d'un dispositif de navigation par satellite (GPS) pour soutenir l'agriculture de précision a permis aux agriculteurs d'économiser entre 500 et 550 millions de dollars par an en ce qui concerne l'amélioration du rendement et l'utilisation plus efficace des semences, des engrais et de l'irrigation. L'utilisation de la navigation par satellite en vue de soutenir l'agriculture de précision permet une économie de coût de 10 à 25 dollars par acre.
			• L'utilisation combinée de l'imagerie satellitaire et de données météorologiques in situ pour appuyer les pratiques agricoles permet une économie de 25 à 50 dollars par acre.
	Ag	OUVRIR DE NOUVEAUX MARCHÉS	• L'utilisation de l'imagerie satellitaire afin d'appuyer la réglementation croissante de l'industrie du canola a ouvert un marché d'exportation vers l'Union européenne allant de 100 à 200 millions de dollars par an pour les agriculteurs canadiens.
	SE	AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ DU TRANSPORT MARITIME	• Le SCG fournit des cartes des glaces afin que les navires puissent choisir les routes optimales, ce qui permet de réaliser des économies de carburant, de réduire l'impact sur l'environnement et d'améliorer l'efficacité des opérations maritimes. Même les gains marginaux prévus entraîneraient une économie de coûts pour l'industrie du transport maritime de 5 à 10 millions de dollars pendant la saison de navigation dans l'Arctique.
	CR/É	SERVICES DE TÉLÉMÉDECINE	• Grâce aux solutions de télémédecine et de cybersanté à distance, on estime que neuf communautés du Nord ont économisé 600 000 dollars en 2017, car des situations ont pu être résolues à distance, sans avoir à se rendre chez le médecin ou inversement.
	CR/É	SOUTENIR L'ÉCONOMIE CANADIENNE	• De 2008 à 2017, les ménages dotés d'un service satellitaire à large bande ont permis d'ajouter 2,2 milliards de dollars au PIB du Canada.
	CTA	PERMETTRE LES DÉPLACEMENTS AÉRIENS	• La surveillance dépendante automatique en mode diffusion (ADS-B) (et la technologie GPS) par satellite génère des économies de plusieurs dizaines de millions de dollars en raison des économies de carburant réalisées grâce à la réduction des contraintes d'espacement des vols sur les principaux corridors de trafic aérien.
Autres chiffres	SE	SIGNALEMENT DU TRANSPORT MARITIME ILLÉGAL	• Plus de 200 anomalies pétrolières ont été détectées par les services I-STOP du SCG entre 2013 et 2017, et 39 d'entre elles ont été validées comme étant des rejets d'hydrocarbures par des navires océaniques.
	CR/É	CONNECTER LES MÉNAGES ET LES COLLECTIVITÉS	• Plus de 200 000 ménages situés dans les régions rurales et éloignées du Canada sont connectés à Internet par satellite. Dans le Nord du Canada, 77 communautés autochtones dépendent uniquement des liaisons par satellite, ce qui est essentiel pour connecter les ménages, les écoles, les centres médicaux et les banques à Internet et à d'autres parties du Canada.
	GC	TIRER PARTI DES EFFORTS INTERNATIONAUX	• Le gouvernement canadien a activé la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » 13 fois, afin de recevoir des images appuyant le suivi des catastrophes sur le territoire canadien.
	GC	SOUTENIR LES EFFORTS DE SECOURS INTERNATIONAUX	• En date de juin 2018, la Charte avait été activée 576 fois. Dans le cadre de ces activations, les données de RADARSAT 1 et 2 ont appuyé environ les deux tiers des efforts d'intervention en cas de catastrophe, contribuant ainsi à atténuer les effets des catastrophes à l'échelle mondiale.
	GC	VIES CANADIENNES SAUVÉES	• Depuis sa création, le système COSPAS-SARSAT a permis de sauver la vie de plus de 1 500 Canadiens et de plus de 32 000 personnes dans le monde.
	TL	TÉLÉCHARGEMENTS VISANT LA SANTÉ ET LA CONDITION PHYSIQUE	• Des enquêtes récentes montrent que plus de 300 000 applications liées à la santé et à la condition physique, dont un tiers sont basées sur la technologie GPS liée au GNSS, ou dépendent de cette dernière, ont été téléchargées par les utilisateurs canadiens de téléphones intelligents en mai 2018.

**GC : gestion des catastrophes; Ag : agriculture; CTA : contrôle du trafic aérien; CR/É : connectivité dans les régions rurales/éloignées; TL : transport et logistique; SE : surveillance de l'environnement.*

2.1.2 AVANTAGES QUALITATIFS SÉLECTIFS

Compte tenu des différences entre les sujets abordés dans cette étude, les avantages qualitatifs sont divers. L'avantage pour la surveillance de l'environnement, qui est davantage axée sur la recherche, est très différent des avantages pour les collectivités rurales ou éloignées qui se concentrent sur les populations vivant dans ces régions. Ces secteurs de retombées peuvent toutefois être regroupés en quatre grands domaines, comme le montre le tableau ci-dessous. Il n'est pas surprenant de constater que les principaux secteurs de retombées sont pris en compte dans l'appui aux politiques générales et à d'autres ministères. Étant donné que plusieurs consultations ont eu lieu avec le gouvernement à l'échelle fédérale, il s'agirait d'un reflet équitable des mandats respectifs. En parlant avec le gouvernement au niveau provincial, on met davantage l'accent sur le soutien aux entreprises et aux populations de la province. Par exemple, tandis qu'AAC produit des cartes agricoles à l'échelle nationale largement utilisées pour aider les décideurs, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario [MAAARO] produit davantage de cartes régionales sur l'utilisation des terres pour appuyer la prise de décisions stratégiques à un niveau plus local et soutenir l'agroentreprise en Ontario. De même, le gouvernement de l'Alberta cherche des moyens de surveiller l'industrie du pétrole de schiste dans la province.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES QUALITATIFS SÉLECTIFS

TYPE	THÈME	AVANTAGE	
SOUTIEN AUX POLITIQUES	Ag	SOUTENIR UNE POLITIQUE PLUS GÉNÉRALE	• Les cartes agricoles par satellite figurent parmi les produits les plus téléchargés sur le portail de données ouvertes du gouvernement du Canada. Ces cartes appuient les décideurs et les agroentreprises à l'échelle du Canada.
		SOUTENIR LES POLITIQUES D'UTILISATION DES TERRES	• Appui aux politiques de gestion des terres partout au Canada, notamment en permettant une meilleure surveillance des zones sujettes aux inondations, une meilleure gestion du développement urbain en ce qui concerne la gestion de l'eau et l'atténuation des risques dans un écosystème local changeant, etc.
	SE	SURVEILLER LES PRATIQUES D'UTILISATION DES TERRES	• Fournir des lignes directrices stratégiques pour soutenir la production de milieux humides et protéger leur écosystème sensible. Surveiller les impacts des intrusions d'origine humaine dans l'écosystème des milieux humides et déterminer les zones à risque.
	SE	APPUYER LA RÉGLEMENTATION LIÉE À L'EXPLOITATION MINIÈRE	• Contribuer à l'élaboration d'une réglementation réaliste que les industries minières pourront suivre afin d'atténuer les niveaux de bruit et de poussière et les impacts que cela pourrait avoir sur la population faunique locale. À l'avenir, on s'attend à ce que l'imagerie soit davantage utilisée pour appuyer la remise en état des sites miniers; des études pilotes se sont déjà révélées efficaces.
	SE	PROTÉGER LA FAUNE	• Surveiller les impacts environnementaux sur l'île de Sable pour soutenir les populations locales de phoques et de chevaux.
	CR/É	ATTEINDRE LES OBJECTIFS DE LA POLITIQUE EN MATIÈRE DE LARGE BANDE	• Les nouveaux systèmes et services par satellite améliorent considérablement la qualité du service, ce qui permet au gouvernement d'atteindre son nouvel objectif universel en matière de large bande. De nouveaux investissements dans les satellites devraient permettre de doubler la vitesse de téléchargement du service à large bande pour 200 000 ménages au cours des cinq prochaines années.
SOUTENIR LES AUTRES MINISTÈRES	GC	GÉRER LES INONDATIONS	• Les données SAR ont été utilisées pour surveiller et appuyer les efforts de secours lors de l'inondation du Québec en 2017, appuyant ainsi le MDN dans ses opérations au sol.
	SE	SOUTENIR LA COLLECTE DE DONNÉES À L'ÉCHELLE MONDIALE	• Le Canada participe au programme du Réseau pour l'océanographie géostrophique en temps réel (ARGO), qui appuie la collecte de données océaniques in situ pour la modélisation du climat. Le Canada exploite environ 85 flotteurs ARGO, avec un accès aux données de plus de 4 000 éléments. Permettre au Canada de fournir de meilleurs modèles de prévision et d'appuyer la recherche dans l'ensemble du pays.

POPULATION ET ENTREPRISES	**GC**	MOBILISER LE PUBLIC À L'ÉGARD DES INTERVENTIONS EN CAS DE CATASTROPHE	• L'« Observateur de RNCAN » utilise des renseignements participatifs afin de permettre au public de télécharger des données lors d'une catastrophe, lesquelles données peuvent être utilisées pour valider des situations sur le terrain.
	Ag	RENTABILITÉ DES AGROENTREPRISES	• Soutien pratique aux agroentreprises. Évaluer la superficie et la valeur de la couverture terrestre, la taille des champs, la définition des limites, etc.
	CR/É	SOUTENIR L'EMPLOI DANS LES ZONES RURALES	• L'amélioration des services à large bande permet de travailler à distance et d'avoir des bureaux à domicile. Le service réduit le stress individuel au travail et augmente la souplesse. Il permet une meilleure connectivité entre les personnes et les bureaux éloignés, etc.
	CR/É	APPUYER L'ÉDUCATION	• L'apprentissage en ligne par satellite a permis à trois élèves d'obtenir leur diplôme d'études secondaires à Ulukhaktok (Territoires du Nord-Ouest) pour la première fois.
	TL	OPTIMISER LES ACTIVITÉS QUOTIDIENNES D'ACHEMINEMENT POUR LES CANADIENS	• Plus de 23 millions de Canadiens profitent des applications GPS par satellite pour optimiser leurs trajets.
SENSIBILISATION	**GC**	TIRER PARTI DES EFFORTS INTERNATIONAUX	• Le gouvernement canadien a activé la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » 13 fois afin de recevoir des images en appui au suivi des catastrophes sur le territoire canadien.
	CR/É	SOUTENIR LES ACTIVITÉS DE SECOURS À L'ÉCHELLE MONDIALE	• La liaison par satellite permet aux médecins canadiens de fournir un soutien en télémédecine à leurs collègues actifs dans des zones de conflit, comme la Syrie.

2.2 SECTEURS CLÉS POUR LA CROISSANCE FUTURE

La croissance future des répercussions des avantages des indicateurs évalués est en grande partie attribuable à trois facteurs, lesquels sont parfois combinés :

> L'introduction de nouvelles solutions satellitaires pouvant apporter de plus grands avantages aux domaines d'application existants ou en croissance. Par exemple, l'émergence de constellations de télécommunications par satellite permettra d'améliorer la connectivité avec les collectivités rurales; ou encore, l'utilisation de constellations d'imagerie à moindre coût permettra d'améliorer la réévaluation des applications agricoles, etc.

> Des taux de pénétration croissants des technologies existantes. Par exemple, le rôle de la navigation par satellite dans l'agriculture de précision continue de croître avec l'adaptation croissante au sein de l'agroentreprise. Cette pénétration croissante peut également être due à l'amélioration des solutions d'approvisionnement en satellites, comme il est mentionné précédemment.

> Facteurs externes à la technologie satellitaire, tels que l'évolution de l'environnement macroéconomique. Par exemple, la croissance des populations nordiques aurait un effet net sur l'adoption des services satellitaires à large bande; l'augmentation de l'exploitation minière dans les mêmes régions entraînerait une augmentation du transport maritime et, par conséquent, les avantages de la surveillance des glaces de mer par imagerie satellitaire augmenteraient en même temps.

Les deux premiers facteurs sont plus faciles à prévoir puisqu'ils s'inscrivent dans des marchés commerciaux où la taille du marché est disponible (comme la valeur des terres cultivées pour le Canada) et où les hypothèses (comme les taux de pénétration croissants) peuvent être prises en compte. Les scénarios ci-dessous sont établis à partir d'hypothèses autour de ces facteurs. Ce dernier point dépend davantage des circonstances atténuantes, et il est donc plus difficile à prévoir. Par exemple :

> On s'attendait à ce que la croissance démographique dans le Nord augmente au cours de la dernière décennie, mais cela ne s'est pas produit. Il y a du mouvement dans les collectivités du Nord, mais ce mouvement repose en grande partie sur le suivi de l'emploi avec peu de gains ou de pertes nets.

> Fed Nav ne prévoit pas une augmentation significative du transport maritime de marchandises sur les itinéraires maritimes du Nord; cependant, l'augmentation ou la diminution de l'activité minière a un impact sur le nombre de navires qui circulent dans les eaux.

> Un nombre croissant de catastrophes entraînerait une utilisation accrue des ressources satellitaires, bien qu'il soit pratiquement impossible de les cibler. Il est à noter que les activations de la Charte au Canada ont été à peu près les mêmes au fil des ans.

La plupart de ces scénarios de croissance sont basés sur des scénarios quantitatifs qui peuvent être mesurés. Toutefois, l'étude a également relevé plusieurs nouveaux secteurs de services qui pourraient apporter des avantages à l'avenir. Ces domaines sont aujourd'hui considérés comme impossibles (en raison, par exemple, des limitations techniques) ou résultent d'un changement de politique qui exige un meilleur suivi d'une situation évolutive plus générale. Par exemple, aujourd'hui, le gouvernement de l'Alberta n'utilise pas systématiquement l'imagerie satellitaire pour surveiller et réglementer la région des sables bitumineux, mais il a l'intention d'amorcer ce processus au cours des prochains mois afin de pouvoir se protéger contre les répercussions environnementales potentielles et d'appuyer les décisions politiques et réglementaires concernant l'industrie pétrolière provinciale.

RÉSUMÉ DES SECTEURS DE CROISSANCE FUTURE

THÈME	POTENTIEL DE CROISSANCE FUTURE	
	QUANTITATIF	
Ag	UTILISATION CONTINUE DE L'IMAGERIE DANS L'AGRICULTURE DE PRÉCISION	• Grâce aux économies combinées d'heures-personne et à l'amélioration de l'efficacité de l'agriculture (en ciblant les endroits où irriguer, économiser les engrais, etc.), des économies sont réalisées pour l'agroentreprise. Moins de 10 % des fermes canadiennes utilisent l'imagerie satellitaire à l'appui de leurs activités. L'augmentation des taux de pénétration à 25 % d'ici 2027 entraînerait des avantages en termes d'économies de coûts pour les agriculteurs compris entre 650 millions et 1,3 milliard de dollars, selon le type de culture.
Ag	UTILISATION CONTINUE DE SATNAV DANS L'AGRICULTURE DE PRÉCISION	• Environ 45 000 exploitations agricoles au Canada utilisent des solutions d'agriculture de précision, ce qui représente un peu plus de 50 % de la superficie cultivée totale. Cette participation de 50 % entraîne un avantage d'environ 575 millions de dollars par an grâce aux économies de coûts permises par les pratiques agricoles exemplaires. Toutefois, si le taux d'adoption passe à 75 % en 2027 pour les régions agricoles dont la superficie moyenne est d'au moins 1 000 acres, et si l'on suppose une augmentation de 10 % dans d'autres régions, alors la pénétration totale représente environ les deux tiers de la superficie cultivée. Cela signifierait une économie de plus de 800 millions de dollars par an dans l'ensemble du Canada.
CR/É	SOUTENIR L'ÉCONOMIE CANADIENNE	• Possibilité d'ajouter 2,7 milliards de dollars au cours de la prochaine décennie à l'économie canadienne en augmentant la pénétration des services à large bande, ce qui permettra d'accroître la productivité et l'efficacité des entreprises, notamment , dans les régions rurales et éloignées.
CR/É	ADOPTION ACCRUE DES SERVICES À LARGE BANDE AMÉLIORÉS	• La mise en service de nouveaux systèmes satellitaires à haut débit (SHD) devrait permettre de remédier aux pénuries en matière de capacité. Ces nouveaux déploiements de réseaux satellitaires devraient stimuler la pénétration des services satellitaires à large bande au sein de son marché visé. Ainsi, le nombre total de ménages ruraux connectés par satellite devrait passer à plus de 400 000 ménages au cours de la prochaine décennie, soit une pénétration de 80 % du marché visé.

CTA	RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO_2 PAR VOL	• Réduction cumulée de 27,6 millions de tonnes d'émissions d'équivalent en CO_2 dans l'ensemble de l'espace aérien sous contrôle canadien d'ici 2027 grâce à la mise en œuvre de l'ADS-B, ce qui se traduira par des itinéraires aériens plus efficaces.
CTA	AUGMENTATION DU TRAFIC AÉRIEN AU-DESSUS DU CANADA	• La croissance prévue du trafic aérien rendue possible par l'ADS-B permettra une augmentation des recettes provenant des droits établis par NavCanada, ce qui entraînera des paiements de taxes estimés à 19 millions de dollars en 2027.
CTA	AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ DES PASSAGERS	• La mise en œuvre complète d'un système ADS-B spatioporté au sein de l'industrie du transport aérien d'ici 2020 permettrait d'améliorer de 76 % la conformité aux normes officielles du niveau cible de sécurité en matière de collision mortelle par heure de vol.
TL	AMÉLIORER L'UTILISATION DES CONTENEURS MARITIMES	• L'amélioration de l'utilisation des conteneurs rendue possible par l'IdO spatial entraînera un impact positif de 170 millions de dollars sur l'industrie maritime canadienne d'ici 2025.
TL	SOUTENIR LA CRÉATION D'EMPLOIS AU CANADA	• Euroconsult estime que les services Uber avec GPS créeront jusqu'à 24 500 emplois équivalents à temps partiel au Canada en 2027.
TL	AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DE LA LOGISTIQUE	• On a déterminé que des économies de carburant annuelles d'environ 50 millions de dollars par an étaient attribuables à la technologie de l'IdO par satellite grâce à une surveillance améliorée de la vitesse de plus de 1 million de camions poids moyen et lourd en activité au Canada.
	QUALITATIF	
SE	REMETTRE EN ÉTAT LES TERRES	• L'imagerie satellitaire s'est avérée efficace pour surveiller la remise en état des sites miniers. À l'aide d'images satellitaires et aériennes pour surveiller les taux de chlorophylle qui reviennent, on a remis en état un terrain de 200 km x 200 km à l'extérieur de Sudbury, en Ontario. Auparavant, les terres présentaient des niveaux élevés de dioxyde de soufre, causés par les procédés de fusion. Environ 100 sites supplémentaires peuvent être soutenus de la même manière pour remettre en état les terres afin qu'elles soient sécuritaires et qu'elles puissent être utilisées.
SE	SURVEILLER LES SABLES BITUMINEUX	• Le gouvernement de l'Alberta devrait commencer à utiliser davantage d'images au cours des six à douze prochains mois pour surveiller systématiquement les sables bitumineux afin de déceler tout impact sur l'environnement. Un processus est en cours pour définir les paramètres à tester et les ensembles de données à utiliser.
CR/D	SOUTENIR LA TÉLÉMÉDECINE ET L'APPRENTISSAGE EN LIGNE	• La croissance de la pénétration des services à large bande devrait également avoir d'autres effets positifs sur la santé et l'éducation. Les programmes d'éducation gouvernementaux, comme le Programme d'enseignement à distance dans le Nord, comptent maintenant 35 élèves provenant de sept collectivités. D'autres succès sont attendus à l'avenir, car d'autres initiatives de ce type sont en train de voir le jour.
CTA	RÉDUCTION DU TEMPS DE DÉPLACEMENT POUR LES COMPAGNIES AÉRIENNES	• En empruntant des itinéraires plus efficaces grâce à la technologie ADS-B, on économiserait en moyenne 3 minutes par voyage.

2.3 SOLUTIONS RETENUES

Les solutions satellitaires détaillées ci-dessous reflètent les principales données recueillies dans le cadre du processus de consultation. On s'attendrait à ce que d'autres ensembles de données soient utilisés en fonction des besoins spécifiques d'autres utilisateurs finaux.

2.3.1 IMAGERIE (OBSERVATION DE LA TERRE)

Plusieurs types d'images satellitaires sont utilisées en fonction des domaines d'application spécifiques. Il y a un certain biais en faveur de l'utilisation de la série RADARSAT, car celle-ci est gratuite pour le gouvernement. Il s'agit d'un outil clé dans certaines applications propres au Canada, comme la surveillance des glaces de mer. Les autres solutions par satellite de tierce partie utilisées sont variées, mais les budgets

demeurent un problème. On a donc tendance à utiliser des ensembles de données disponibles gratuitement, comme les séries Landsat, Sentinel et MODIS (à bord des satellites Terra et Aqua de la NASA).

2.3.1.1 Solutions actuelles

À l'heure actuelle, il serait juste de dire que les données des séries Landsat et RADARSAT, et que l'introduction croissante de données de la série Sentinel, sont les principaux piliers du développement d'applications. D'autres ensembles de données gouvernementales sont utilisés de façon ponctuelle ou pour créer des applications opérationnelles de surveillance environnementale à l'échelle nationale (comme MODIS pour la surveillance de l'utilisation des terres et la détection des changements dans l'utilisation des terres). L'utilisation des ensembles de données commerciales est plus limitée. Le coût est un facteur primordial, bien qu'une petite quantité de données soit obtenue en fonction du projet.

> La gestion des catastrophes est probablement le domaine évalué dans lequel des ensembles de données provenant de sources multiples sont utilisés. Il s'agit d'un facteur de la participation du Canada à la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures ». Lorsque la Charte est activée au Canada, Sécurité publique Canada (SPC) reçoit des données par l'intermédiaire de l'ASC provenant de plusieurs agences spatiales mondiales et exploitants commerciaux (tels que ROSCOSMOS, JAXA, KARI, etc.). Étant donné que les inondations sont le principal facteur d'activation invoqué par SPC en vertu de la Charte (et qu'il s'agit du risque de catastrophe le plus répandu au Canada, avec les feux de forêt), les données SAR jouent un plus grand rôle dans leur utilisation : RADARSAT-2, Sentinel-1, ALOS et d'autres systèmes satellitaires ont été utilisés après l'inondation au Québec en 2017.

> En ce qui concerne l'agriculture, l'utilisation de solutions satellitaires dépend largement de l'échelle de la cartographie agricole requise. AAC, dont le mandat consiste à fournir des cartes nationales, s'appuie sur des capteurs optiques d'images de fauchée à plus grande portée comme MODIS et les séries Landsat. À l'échelle plus locale, où il est nécessaire de surveiller les champs individuels et la taille de ces derniers, des systèmes à plus haute résolution sont nécessaires.

> La surveillance de l'environnement présente peut-être les besoins en données les plus diversifiés, selon les variables climatiques spécifiques qui sont surveillées. Cependant, elle s'appuie principalement sur des solutions disponibles gratuitement. Pour la surveillance des habitats, comme la surveillance des milieux humides, ce sont surtout les données optiques qui sont utilisées : Landsat, MODIS et Sentinel-2. Le Service canadien des glaces, qui est l'un des plus grands utilisateurs de RADARSAT-2, de données météorologiques et de balayeurs optiques de grande surface, comme MODIS et AVHRR, compte sur les systèmes SAR. Parfois, lorsqu'une résolution plus élevée est nécessaire, Enfotec achète des données commerciales SAR afin de compléter les cartes des glaces en petites quantités.

2.3.1.2 Solutions futures

Le principal facteur susceptible d'avoir une incidence sur l'utilisation future est la possibilité d'avoir accès à une plus grande quantité d'images d'OT par satellite. Il ne s'agit pas nécessairement de remplacer une source d'imagerie par une autre, mais de compléter les solutions par une offre croissante et plus performante. Deux domaines ont été relevés : le lancement de la MCR et l'augmentation de la collecte de données qui en résultera, et la façon de tirer profit du lancement de constellations de systèmes commerciaux d'imagerie à faible coût. Au fur et à mesure que les satellites restants seront mis en orbite, on s'attend à ce que la quantité de données Sentinel utilisées augmente.

On s'attend également à ce que les constellations de satellites qui survolent fréquemment une même cible, comme la constellation Planet, contribuent à la création d'autres domaines d'application en offrant un accès accru à des données exemptes de nuage, et à ce qu'elles captent des données à une fréquence beaucoup plus élevée. Par exemple, les données de Planet permettront de suivre des périodes précises, comme le début et la fin des saisons de croissance. Il est donc possible de prévoir le rôle que de tels systèmes joueront dans l'agriculture de précision : Planet peut fournir des images plusieurs fois par jour, alors que Landsat ne passe que quelques fois au-dessus d'une même cible pendant la saison de croissance.

Il y a aussi la question à savoir comment toutes ces données seront gérées à l'avenir : la MCR apportera une charge accrue de données, tout comme l'expansion de la série Sentinel-1. Par conséquent, des questions demeurent quant à la meilleure façon d'intégrer cette nouvelle source de données SAR et d'extraire l'information de la manière la plus efficace qui soit. On s'attend à ce que l'automatisation joue un rôle plus important, tout comme le rôle de l'intelligence artificielle dans la capacité à fournir des analyses prédictives.

2.3.1.3 Solutions de rechange

La principale solution de rechange à l'imagerie par satellite est la collecte de données par aéronefs. Dans le passé, cela signifiait d'utiliser des capteurs dans des avions avec pilotes. Or, l'adaptation croissante de la technologie des véhicules aériens sans pilote (UAV) ou des drones ajoute une dimension supplémentaire. Selon l'utilisation spécifique, une solution serait préférable à une autre : la technologie des drones peut offrir des résolutions au sol beaucoup plus élevées, mais elle ne peut couvrir que des zones étroites. Les satellites peuvent avoir une résolution au sol grossière, mais ils peuvent effectuer une surveillance permanente de tout le pays à des intervalles réguliers. Les UAV sont moins chers à construire, mais plus chers à exploiter; pour les satellites, c'est l'inverse. Les solutions aéroportées offrent d'autres avantages sur le plan de la cartographie localisée, notamment en matière de mesure des changements de hauteur à l'aide de la technologie LiDAR, ou lorsqu'une capacité spectrale plus élevée est nécessaire, pour mesurer, par exemple, les changements biophysiques des cultures. À l'heure actuelle, il n'existe pas de solutions pour recueillir des données satellitaires à haute résolution/de précision en mode LiDAR et hyperspectral. Et la situation ne devrait pas changer à court ou à moyen termes. Ainsi, la seule solution envisageable, dans de tels cas, est de s'en remettre aux systèmes aéroportés.

Dans le cadre de la gestion des catastrophes, la surveillance des inondations peut être facilitée par les satellites, mais pour les feux de forêt, les solutions aéroportées sont préférables. Les données optiques conviennent mieux à la gestion des feux de forêt que les données SAR, mais celles-ci peuvent être affectées par la fumée. Par ailleurs, un incendie peut changer de direction rapidement; une image satellite peut donc être demandée et être livrée, mais au moment de sa réception, il se pourrait que la zone soit déjà brûlée ou que le feu ait changé de direction. Le seul véritable système pratique de collecte de données aujourd'hui est celui des avions dotés de capacités d'imagerie complètes pouvant transmettre les données en temps réel par liaison descendante. Les drones, bien qu'utiles, nécessitent des permis de vol dont le traitement peut être long.

Dans d'autres domaines d'application, la technologie des drones est mise à l'essai avec un certain succès et ce, même si l'utilisation globale reste plus limitée. Le MAAARO et le gouvernement de l'Alberta acquièrent également des orthoimages aériennes à quelques années d'intervalle afin de surveiller l'utilisation des terres. Cependant, les drones ne sont pas utilisés à grande échelle. Les exigences réglementaires permettant de piloter des drones constituent un facteur clé, et les dépenses opérationnelles peuvent également augmenter. Il en va de même pour l'utilisation des drones pour la surveillance des glaces de mer. Le SCG et Enfotec utilisent tous deux des drones, mais dans des cas très précis : le SCG reçoit environ 200 à 300 heures de vol de reconnaissance par année par l'intermédiaire de Transports Canada pour surveiller l'itinéraire de navires présentant un intérêt particulier. Enfotec a également utilisé des drones

depuis un navire afin de fournir des données au-delà de la portée optique sur l'état des glaces de mer, mais la rentabilité d'une telle initiative n'est pas évidente.

2.3.2 COMMUNICATIONS PAR SATELLITE

Dans le cadre de la présente étude, les télécommunications par satellite se concentrent sur trois domaines très différents : la large bande par satellite est le principal outil satellite de soutien pour relier les collectivités rurales et éloignées; la technologie à faible débit de données pour appuyer la transmission des données des flotteurs ARGO et des balises COSPAS-SARSAT ainsi que la transmission à l'appui de l'IdO (notamment la technologie SIA); et la retransmission des données des signaux ADS-B qui utilisent la technologie GPS pour transmettre les coordonnées d'un avion. L'utilisation de l'ADS-B est considérée comme un nouveau domaine d'utilisation des satellites qui permettrait d'accroître l'efficacité des opérations aériennes. Bien que les autres technologies aient fait leurs preuves depuis longtemps, la connectivité des objets, la notion d'IdO, est considérée comme un domaine en plein essor par les entreprises canadiennes engagées dans le développement de solutions.

2.3.2.1 Solutions actuelles

Les solutions de communications par satellite utilisées dépendent des domaines d'application spécifiques. Le haut débit est principalement basé sur des solutions satellitaires fixes, avec des constellations LEO qui devraient augmenter la capacité dans un avenir proche. La transmission à faible débit de données utilise des charges utiles sur des satellites évoluant sur différentes orbites.

> Les services satellitaires à large bande s'articulent autour de quelques acteurs principaux. Xplornet est le plus important fournisseur d'accès Internet en milieu rural utilisant des réseaux sans fil fixes et satellitaires. Sur les orbites qui passent au-dessus du territoire canadien, la capacité satellitaire est louée à même plusieurs satellites, dont Echostar-17, Echostar-19, Viasat-1 et Viasat-2; et la capacité en bande Ka est louée à même Anik-F2, de Télésat. Les collectivités du Nord sont encore fortement tributaires de la bande C, fournie principalement par les satellites de SES et de Télésat.

> En ce qui concerne les communications à faible débit de données, les données recueillies à partir des flotteurs ARGO sont transmises par la constellation Iridium. Pour les opérations de recherche et de sauvetage, le système COSPAS-SARSAT est composé de cinq satellites LEO et de cinq satellites GEO avec des charges utiles embarquées à bord des satellites météorologiques NOAA et EUMETSAT fonctionnant en orbite basse terrestre (LEO) et en orbite terrestre géosynchrone (GEO). À l'avenir, le système intégrera des satellites fonctionnant en orbite moyenne (MEO), avec des charges utiles qui seront transportées par les satellites de navigation Galileo et Glonass.

> La nature mondiale de la technologie IdO et la grande quantité de données à recueillir en temps réel dans le monde entier nécessitent l'utilisation d'un réseau de satellites en orbite basse terrestre. Les applications en sont à leurs premiers balbutiements, et l'offre se développe progressivement. La technologie SIA est fournie par exactEarth, avec des charges utiles de la prochaine génération à bord de la constellation Iridium NEXT (60 systèmes SIA au total).

2.3.2.2 Solutions futures

On s'attend à ce que la prochaine génération de systèmes SHD réduise davantage le coût des services à large bande et augmente le débit disponible au Canada, ce qui permettra d'appuyer les collectivités rurales

et éloignées. Télésat a annoncé ses plans pour un nouveau satellite, Telstar-20V, qui pourrait ajouter une capacité supplémentaire de 40 Gbit/s dans le nord du Canada. On s'intéresse également aux nouvelles constellations de satellites. La constellation à large bande et à haut débit en LEO de Télésat, qui compte près de 120 satellites, vise à offrir une couverture à faible latence de l'ensemble du Canada. La constellation de plus de 700 satellites proposée par OneWeb fournira également une couverture globale du Canada, pays visé comme l'un des premiers marchés de l'opérateur dès son entrée en service limitée prévue en 2020. La qualité du service devrait également s'améliorer. Ces nouveaux projets de Télésat, Oneweb et SpaceX, offriront des services à large bande uniformes, à haute vitesse et à faible latence aux consommateurs des régions rurales et éloignées.

Dans le domaine de l'IdO, plusieurs nouvelles constellations de satellites devraient voir le jour, notamment les nouvelles entreprises canadiennes Helios Wire et Kepler Communications. Le principal avantage des nouvelles constellations consiste à réduire le coût en capital en utilisant la technologie des petits satellites et, par conséquent, d'élargir le marché visé des services d'IdO dans l'espace.

2.3.2.3 Solutions de rechange

Les solutions terrestres, telles que la fibre optique, la DSL, le câble et la connectivité sans fil, constituent la principale solution de rechange aux communications par satellite. Le câble et la DSL représentent toujours les réseaux terrestres dominants au Canada, reliant plus de 7 millions d'abonnés pour le câble et 4,5 millions pour la DSL. La fibre optique permet à l'utilisateur final d'avoir les débits de données les plus élevés (≥1 Go/s), avec peu ou pas de dégradation sur de longues distances. Cependant, même si le satellite ne peut être compétitif en termes de prix, il devient toujours plus difficile d'avoir accès à d'autres solutions lorsque l'on s'éloigne des centres urbains.

Les inconvénients de la fibre sont les coûts de construction, qui peuvent limiter le déploiement dans les zones à faible densité de ménages ou d'entreprises. Alors que les réseaux mobiles (cellulaires) à large bande ont étendu leur couverture, le coût des plans de données mobiles ne peut concurrencer celui des solutions de réseaux terrestres fixes. Les tours fixes sans fil sont maintenant déployées et considérées comme la solution la plus économique pour les zones comprenant 5 à 30 ménages par kilomètre carré. On s'attend à ce que le satellite demeure l'option la plus rentable pour les zones à faible densité, où la densité des ménages est inférieure à 5 ménages par kilomètre carré.

Les avantages et les inconvénients de l'IdO par satellite dépendent aussi dans une certaine mesure des densités de population. Les infrastructures terrestres telles que la 4G et les futurs réseaux de communication 5G sont bien développés et utilisés dans les zones urbaines. Plus la région est éloignée, y compris la haute mer, plus le recours aux satellites est grand en raison des coûts de construction d'une infrastructure terrestre.

2.3.3 NAVIGATION PAR SATELLITE

La navigation par satellite dépend de l'utilisation de réseaux mondiaux de satellites pour trianguler les positions, et plus spécifiquement d'un système mondial de navigation par satellite (GNSS). L'U.S. Air Force a exploité le Global Positioning System, ou GPS, qui est le réseau le plus utilisé à des fins civiles et commerciales. Les systèmes russe, GLONASS, et chinois, BeiDou, sont davantage utilisés localement (et aussi par les gouvernements respectifs), et le système européen Galileo devrait être pleinement opérationnel d'ici 2020. La technologie ADS-B s'appuie sur le GNSS pour recueillir les données de positionnement des aéronefs qui sont ensuite transmises à la Terre par retransmission des données.

2.3.3.1 Solutions actuelles

Au Canada, le GPS américain est presque exclusivement le réseau GNSS utilisé pour soutenir les applications de télémétrie, des appareils de navigation personnels à ceux de la Défense, en passant par le CTA des aéronefs et le soutien à l'agriculture de précision dans le cadre de la présente étude.

La technologie des transpondeurs ADS-B fonctionne grâce à des émetteurs et à des récepteurs installés à bord des avions. Ces dispositifs transmettent en temps réel des données sur la position, la direction du vol, l'altitude et la vitesse aérienne, entre autres, des avions émetteurs. Le système de distribution de données ADS-B s'appuie sur les satellites GNSS comme source principale d'information, l'information de géolocalisation étant traitée par les instruments internes de l'opérateur avant d'être diffusée. Des relais de télécommunications par satellite sont également utilisés pour transmettre l'information de vol au sol. Ce genre de système fait maintenant son entrée sur le marché, comme Aireon, dont des charges utiles sont embarquées sur les satellites de la constellation Iridium NEXT.

2.3.3.2 Solutions futures

L'ADS-B est encore à la phase du développement, et des solutions seront mises en œuvre à compter de 2018. La solution Aerion sera pleinement opérationnelle lorsque le dernier satellite Iridium NEXT sera mis en orbite, au milieu de l'année 2018. En juin 2018, aucune annonce officielle n'avait été faite quant à une autre constellation de satellites équipés de charges utiles ADS-B. D'autres systèmes GNSS disponibles au Canada offriront une plus grande robustesse aux solutions, ce qui réduira les risques en cas de problèmes touchant le système GPS. Le système européen Galileo devrait être utilisé à l'avenir, même s'il semble peu probable qu'un croisement complet avec le GPS soit possible. De plus, les entreprises qui sont fortement impliquées dans le domaine de l'équipement agricole et qui intègrent le GPS, comme John Deere, sont des entreprises basées aux États-Unis.

2.3.3.3 Solutions de rechange

Le GNSS est bien établi et les systèmes satellitaires sont les seuls à pouvoir offrir une couverture de positionnement mondial. Il existe toutefois des solutions de rechange aux services fondés sur le GNSS. L'ADS-B terrestre a été mis en œuvre au sol, comme successeur aux technologies radar terrestres plus coûteuses. À l'heure actuelle, les deux systèmes sont utilisés simultanément et constituent une solution complémentaire à l'ADS-B spatial émergent. Il n'y a pas de solution de rechange réelle à la solution spatiale là où il n'existe pas d'infrastructure terrestre, comme au-dessus des océans, par exemple.

2.4 OBSTACLES POTENTIELS À LA CROISSANCE FUTURE

Les obstacles à la croissance accrue sont regroupés dans quelques domaines généraux. Les budgets constituent une préoccupation clé, surtout lorsque l'achat de solutions commerciales est nécessaire. Parmi les autres facteurs, mentionnons la mise en place d'une infrastructure de soutien pour maximiser l'utilisation des solutions futures et les changements de politiques et de réglementations qui pourraient s'avérer nécessaires pour soutenir l'utilisation d'autres biens satellitaires.

2.4.1 IMAGERIE (OBSERVATION DE LA TERRE)

Dans la plupart des cas, les budgets visant l'acquisition d'images posent problème. La plupart des données utilisées sont exclusives (série RADARSAT) ou gratuites. L'imagerie commerciale est utilisée, mais seulement en petites quantités – SPC peut obtenir des données commerciales si le budget du projet le permet, tout comme Enfotec. Par ailleurs, une partie du problème consiste à pouvoir démontrer la rentabilité et d'introduire une culture du changement dans laquelle il est reconnu que, même dans le cas de RADARSAT-2, les données ne sont pas « gratuites ». Dans ce domaine, l'adaptation à des solutions plus commerciales est susceptible de se produire d'abord chez les utilisateurs du secteur privé et les gouvernements provinciaux. Le gouvernement de l'Alberta, par exemple, s'attendait à mettre à l'essai des solutions commerciales afin de voir quels systèmes sont disponibles pour mieux surveiller l'exploitation des sables bitumineux.

Au niveau du gouvernement fédéral, l'infrastructure de soutien peut également poser problème. L'architecture informatique actuelle n'est pas jugée adéquate pour soutenir de grandes quantités de données; AAC note qu'à ce stade-ci, il n'a pas la capacité d'intégrer d'autres données Sentinel. La MCR augmentera également considérablement le volume de données. Dans l'idéal, un ordinateur centralisé à haut rendement pourrait remplir les fonctions de stockage et de diffusion des données, mais cela n'existe pas aujourd'hui.

La dotation en personnel peut aussi poser problème. L'imagerie RADARSAT-2 est essentielle pour les partenaires provinciaux de SPC; cependant, ils n'ont pas de personnel spécialisé pour recevoir les demandes d'imagerie et fournir les données. Du côté des gouvernements provinciaux, il se peut qu'ils n'aient pas d'équipes géospatiales spécialisées capables de traiter les images. À la suite de l'incendie de Fort McMurray, les ministères du gouvernement de l'Alberta ont été inondés de données sans disposer des ressources nécessaires pour pouvoir traiter toutes les images fournies. Idéalement, il aurait fallu que les données soient traitées et prêtes à être intégrées au SIG, mais aucun processus n'a encore été mis en place à cette fin. L'ASC se penche actuellement sur cette question.

Les conflits en matière d'attribution de tâches peuvent aussi constituer un problème relativement à RADARSAT-2. On s'attend à ce que cela se poursuive avec la MCR malgré l'augmentation des niveaux d'acquisition de données. On estime que les demandes de données du MDN et du Service canadien des glaces peuvent entraver l'utilisation des données ailleurs si les mêmes données doivent être utilisées.

2.4.2 COMMUNICATIONS PAR SATELLITE

L'évolutivité et le coût sont deux éléments clés qui sont susceptibles de freiner la croissance future des satellites. Dans le cas de l'évolutivité, le réseau fixe sans fil et le réseau à fibre optique sont mieux adaptés pour atteindre un plus grand nombre d'utilisateurs. Les communautés du Nord font pression pour bénéficier de solutions à fibre optique par l'intermédiaire de différents projets afin d'obtenir un accès Internet haute vitesse. La disponibilité croissante de la capacité SHD a considérablement amélioré la disponibilité, le coût et la qualité de la large bande par satellite au Canada. Néanmoins, un manque de capacité satellitaire abordable est encore souvent mis en évidence par les collectivités du Nord.

Le principal obstacle à l'IdO à l'appui du transport et de la logistique pourrait bien être la réalisation de ce qui est promis. De nombreuses entreprises cherchent à développer des constellations de satellites afin de trouver des solutions, mais leur émergence n'est pas toujours garantie. Or, des questions subsistent sur la manière de réglementer l'IdO. À l'heure actuelle, il n'existe pas de normes internationales convenues à ce sujet. L'Union internationale des télécommunications (UIT) et l'IEEE Standards Association travaillent à la normalisation des communications ou du matériel informatique, et les gouvernements commencent

maintenant à mettre en œuvre des cadres réglementaires nationaux, comme la loi américaine *Internet of Things Cybersecurity Improvement Act*,qui a été mise en œuvre en 2017. Le piratage constitue également un problème; les dispositifs de l'IdO sont des concepts relativement simples associés à une connectivité globale, tout en étant capables de transporter des renseignements importants. L'absence d'un cadre réglementaire clair peut entraver le développement de systèmes technologiques en raison de l'incertitude quant à la technologie et à l'architecture du réseau qui pourraient être légalement limitées à l'avenir.

2.4.3 NAVIGATION PAR SATELLITE

Un des enjeux susceptible de nuire au développement futur des services d'agriculture de précision fondés sur le GNSS est de déterminer à qui appartiennent les données. Les données recueillies par l'équipement agricole doté d'un GPS, qui est fourni par le fournisseur de l'équipement, sont ensuite intégrées à une solution par le fournisseur de services. L'information est alors transmise à l'agriculteur. Toutefois, la propriété des données peut être revendiquée par les trois parties, et les données peuvent être regroupées et utilisées davantage – par exemple pour surveiller le rendement de plusieurs exploitations et de vastes superficies. Cette collecte de données pourrait notamment servir à mieux prévoir les prix des produits de base. Certains permis ou certaines réglementations peuvent être mis en place pour apaiser les inquiétudes ou régir la manière dont les données peuvent être utilisées, bien que cette approche soit encore sous-développée.

Pour les principaux organismes de réglementation des vols, tels que la FAA et EUROCONTROL, on s'attend à ce que les avions se conforment en transportant à leur bord des émetteurs ADS-B d'ici 2020. NavCanada a adopté la même stratégie et exigera que tous les aéronefs qui voyagent à partir des espaces aériens du Canada, ou à travers ces derniers, respectent ces règlements. La principale préoccupation entourant la technologie ADS-B est la capacité à déployer les solutions à l'échelle mondiale. La construction de l'infrastructure satellitaire est relativement simple, mais certains pays et régions sont plus difficiles d'accès pour la construction et l'installation de l'équipement au sol nécessaire aux communications.

3. UTILISATION ET AVANTAGES PAR SUJET

Dans cette section, chacun des sujets est abordé tour à tour. La première partie de chaque section comporte un résumé de la documentation sur la façon dont les ressources spatiales sont utilisées dans chaque sujet. Voici les catégories spécifiques d'avantages pour le Canada, par sujet. Il est à noter que ces avantages ont été colligés principalement dans le cadre du processus de consultation avec les intervenants tiers, et par des recherches documentaires.

GESTION DES CATASTROPHES

3.1 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DE LA GESTION DES CATASTROPHES

Dans l'étude réalisée en 2015 par Euroconsult pour le compte de l'ASC concernant l'« Étude environnementale relative au plan stratégique d'utilisation de l'espace », la gestion des catastrophes a été le premier domaine d'intérêt mondial, pour les gouvernements évalués, en matière d'utilisation des technologies spatiales[1]. L'un des facteurs à cet égard est l'applicabilité du sujet aux applications des communications par satellite, de la navigation par satellite et de l'observation de la Terre; un autre facteur est que des systèmes satellitaires plus performants et mieux coordonnés sont en mesure de traiter les questions de gestion des catastrophes; et, enfin, chaque pays doit répondre à des besoins politiques en matière de gestion des catastrophes, que ce soitsur les inondations, les incendies ou sur d'autres catastrophes naturelles ou d'origine humaine, qu'il s'agisse de mesures d'atténuation ou de soutien ou d'efforts de secours.

Plusieurs paliers gouvernementaux exploitent l'espace. Au plus haut niveau, les opérations internationales de secours en cas de catastrophes majeures sont souvent coordonnées avec la collaboration internationale des gouvernements. Ces activités peuvent être coordonnées par l'intermédiaire de l'ONU avec le soutien des premiers intervenants (ONG, opérations civiles et militaires du gouvernement national, etc.) Du point de vue de l'utilisation de l'espace, l'information est coordonnée par des organisations comme COSPAS-Sarsat (pour la recherche et le sauvetage)[2] et la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » (aux fins de soutien à l'OT)[3]. Le Canada a été l'un des membres fondateurs de ces deux organismes de soutien. Le Bureau des affaires spatiales des Nations Unies appuie également la collecte de données spatiales à l'appui de la gestion des catastrophes par l'intermédiaire du Portail de connaissances de l'UN-SPIDER[4]. Il se concentre principalement sur l'utilisation de l'imagerie, mais intègre également le rôle des communications lors d'une catastrophe.

---

[1] « *Étude environnementale relative au plan stratégique d'utilisation de l'espace* ». Étude d'Euroconsult pour le compte de l'ASC (2015).

[2] « *Programme international COSPAS-SARSAT* ». Cospas-Sarsat, (2014). Consulté à l'adresse : https://cospas-sarsat.int/fr/about-the-secretariat/about-the-programme

3 *« La Charte internationale »*. Charte internationale « Espace et catastrophes majeures », (2018). Consulté à l'adresse : https://disasterscharter.org/fr/web/guest/home

[4] « *Portail de connaissances* ». Bureau des affaires spatiales des Nations Unies, (2018) Consulté à l'adresse : http://www.un-spider.org/fr

À un niveau plus local (gouvernance nationale, provinciale et locale), les activités d'exploitation couvrent également les opérations de secours (si la catastrophe se situe dans la zone de compétence du gouvernement). Cependant, lorsqu'une catastrophe survient, l'accent est davantage mis sur les mesures d'atténuation et de planification, notamment si l'autorité compétente couvre des zones sujettes aux inondations et aux feux de forêt, par exemple, ou en surveillant les profils météorologiques et en détectant les points chauds au sol (c.-à-d., les zones qui pourraient être sujettes à un feu de forêt en raison du type de végétation et de la sécheresse) afin de mieux planifier la logistique en cas d'incendie. En cas d'inondation, là encore, la logistique peut être soutenue en déterminant d'abord les zones d'une plaine inondable sujettes aux inondations, puis en utilisant les données météorologiques pour établir la probabilité d'un scénario de crue.

La participation du secteur privé dans la gestion des catastrophes est plus limitée, les activités à l'appui des traités internationaux étant généralement exécutées davantage sur une base contractuelle dans le cadre du traité. Des solutions d'imagerie commerciale sont également fournies à titre gracieux, par exemple, afin de faciliter la collecte de données en cas de catastrophe. Ainsi, le marché commercial des solutions d'OT ne représente que 3 % du marché combiné de 5,3 milliards de dollars pour les données et les services en 2016[5]. Toutefois, le secteur privé s'intéresse de plus en plus à l'amélioration de la surveillance des sites industriels en ce qui concerne l'impact potentiel sur l'environnement et les catastrophes (à l'appui, par exemple, de la responsabilité sociale des entreprises), et les gouvernements responsables s'intéressent également à la surveillance de ces mêmes sites pour ce qui est des impacts potentiels. Au Canada, par exemple, on s'intéresse particulièrement aux activités de surveillance des sables bitumineux et des sites miniers – lesquels constituent une préoccupation publique/environnementale croissante, et on s'interroge quant à la meilleure façon de réglementer ces activités. On se penche notamment sur l'incidence potentielle des activités sur les ressources hydriques, ou du bruit provenant de la construction ou de l'industrie sur la faune. On souligne, par exemple, que les divisions de l'environnement et des parcs au sein du gouvernement de l'Alberta explorent l'exploitation de l'OT comme solution pour mieux surveiller les sables bitumineux.

3.1.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION

3.1.1.1 Communications par satellite

Les communications par satellite sont utilisées pendant toutes les phases du cycle de gestion des catastrophes : Atténuation – Préparation – Intervention – Rétablissement. Néanmoins, les activités sont principalement menées en réponse aux catastrophes et dans le cadre des efforts de rétablissement ultérieurs. Les satellites sont essentiels pour assurer ou rétablir les communications à la suite de catastrophes lorsque les réseaux terrestres (fixes ou sans fil) ont été touchés, détruits ou surchargés. Les communications par satellite permettent l'accès à des renseignements vitaux, ainsi que la coordination entre les agences gouvernementales, les services gouvernementaux civils et de défense, les organisations humanitaires et d'autres entités participant aux opérations de sauvetage et de rétablissement. Les communications par satellite sont également essentielles aux autres secteurs de services requis, notamment les hôpitaux, les médias et les réseaux organisationnels (p. ex. : GAB, supermarchés, stations-service) dont les services ont été perturbés. Les opérateurs de services cellulaires terrestres utilisent également des

[5] « *Satellite-based Earth Observation, Market Prospects, 10e édition* ». Euroconsult, (2017).

satellites pour fournir un soutien de liaison terrestre pour la restauration des services de téléphonie cellulaire et de messagerie texte[6].

Les organismes gouvernementaux et les organisations intergouvernementales contribuent au déploiement de technologies et de services de communication par satellite pour la gestion des catastrophes à l'échelle nationale, régionale ou internationale, en collaboration avec le secteur privé. Voici quelques exemples d'utilisation :

> L'Emergency Telecommunications Cluster (module des télécommunications d'urgence, ETC), dirigé par le Programme alimentaire mondial (PAM), est un réseau mondial d'organisations humanitaires, privées et gouvernementales qui collaborent pour fournir des services de communication communs en cas de catastrophe[7]. Il fournit des services de communication dans les 48 heures suivant l'activation. Grâce à sa stratégie ETC2020, il est en train de passer du statut de fournisseur de services à celui de courtier et de facilitateur de technologies d'intervention en cas d'urgence[8].

> En 2011, le gouvernement du Luxembourg a lancé son programme Emergency.lu en partenariat public-privé avec SES, HITECH Luxembourg et Luxembourg Air Ambulance. Le programme fournit la capacité satellitaire, les terminaux et la logistique nécessaires à un déploiement rapide en cas de catastrophe[9].

> Aux États-Unis, la Federal Emergency Management Agency (FEMA) s'est associée à des exploitants de satellites comme Intelsat, Hughes et Viasat en vue de fournir des services de communication par satellite à l'appui des opérations de sauvetage et de rétablissement.

Le secteur privé coordonne également ses services pour fournir un soutien à la suite de catastrophes. En 2015, les opérateurs de satellites Eutelsat, Hispasat, Inmarsat, Intelsat, SES, Thuraya et Yahsat ont signé la Crisis Connectivity Charter, gérée sous l'égide de l'EMEA Satellite Operators Association (ESOA), du Global VSAT Forum (GVF) et en coordination avec l'ONU et l'ETC. La Charte vise à établir un mécanisme piloté par l'industrie qui peut être déclenché par l'ETC pour fournir une mise en œuvre cohérente, prévisible et évolutive d'une intervention de bout en bout basée sur les communications par satellite en temps de crise[10].

Les services de communication par satellite utilisés dans la gestion des catastrophes comprennent les téléphones par satellite et les terminaux portables, ainsi que les microstations terriennes (VSAT) transportables et fixes. Toutes ces solutions sont utilisées afin de fournir des liens essentiels pour les communications de sécurité et de sûreté, la transmission de signaux vocaux et les connexions Internet. La téléphonie par satellite est notamment essentielle dans les 72 heures qui suivent une catastrophe ou une situation d'urgence afin d'établir des communications vocales lorsque les réseaux fixes et les stations de base ont été touchés. Dans ce contexte, les entreprises de services mobiles par satellite, comme Iridium, Inmarsat et Globalstar, fournissent un service crucial aux premiers intervenants. Les terminaux du réseau

---

[6] « *When Hurricanes Strike- Satellites Play a Critical Role in Saving Lives Before and After a Hurricane* ». Satellite Industry Association, (2017). Consulté à l'adresse : https://www.sia.org/wp-content/uploads/2017/10/Mktg17-Hurricane-Document-FINAL.pdf

[7] « *About ETC* ». Emergency Telecommunications Cluster, (2018). Consulté à l'adresse : https://www.etcluster.org/about-etc

[8] « *ETC 2020* ». Emergency Telecommunications Cluster, (2018). Consulté à l'adresse : https://www.etcluster.org/about-etc/etc-2020

[9] « *About Emergency.lu* », Emergency.lu, (2018). Consulté à l'adresse : http://www.emergency.lu/about/

[10] « *Crisis Connectivity Charter Satellite Training* ». Emergency Telecommunications Cluster, (2018). Consulté à l'adresse : https://www.etcluster.org/event/crisis-connectivity-charter-satellite-training

mondial à large bande (BGAN) et les terminaux VSAT sont utilisés pour fournir une connectivité allant jusqu'à plusieurs Mo/s pour des applications telles que la voix, les données, la vidéo et les interventions d'urgence par Internet[11].

Il existe de nombreux exemples d'utilisation dans lesquels les services de communications par satellite ont joué un rôle essentiel dans la gestion des catastrophes. Par exemple, en 2017, les ouragans Irma et Maria ont gravement endommagé l'infrastructure des télécommunications, ce qui a fortement perturbé les services vocaux et Internet à Porto Rico et dans d'autres îles des Caraïbes. Plus de 5 000 téléphones Iridium ont été utilisés à Porto Rico seulement[12]. Hughes a installé environ 50 sites à Porto Rico pour la FEMA et a transmis environ 30 000 appels[13]. Kymeta (avec ses partenaires Intelsat et Liberty Puerto Rico) a fourni des communications à 33 collectivités à travers le pays[14]. Emergency.lu a également déployé trois terminaux portables utilisant la capacité satellitaire de SES pour rétablir la communication avec les intervenants humanitaires en Dominique et à Saint Martin[15]. L'ouragan Matthew de 2016 en Haïti a entraîné une intervention semblable[16], tout comme le séisme et le tsunami de 2011 sur la côte Pacifique du Japon qui ont endommagé environ 1,9 million de lignes fixes de communication et 29 000 stations de base au Japon. L'ETC est activé en Syrie depuis 2013 pour fournir aux organisations humanitaires des services de connectivité vocale et Internet sécurisés et communs[17].

De plus, COSPAS-SARSAT représente le programme international qui fournit le système de repérage de signaux de détresse pour la recherche et le sauvetage assisté par satellite (SARSAT) et qui coordonne les organismes de recherche et de sauvetage. Le système est utilisé par les autorités de recherche et de sauvetage pour venir en aide aux personnes en détresse. Depuis sa création en 1982, COSPAS-SARSAT a permis de sauver plus de 32 000 vies dans le monde entier. Le système SARSAT utilise des satellites évoluant en orbites géostationnaires et en orbites basses. COSPAS-SARSAT complète son programme avec des satellites MEO, qui consistent en des répéteurs pour la recherche et le sauvetage hébergés sur les systèmes GPS, GLONASS et Galileo. Le système, appelé MEOSAR (composante terrestre du système de satellites en orbite moyenne pour la recherche et le sauvetage), permettra de détecter les signaux de balises en 10 minutes avec plus de précision (5 km), comparativement au système actuel qui pourrait prendre jusqu'à plus d'une heure[18].

---

[11] « *Guidelines for Implementation of Satellite Telecommunications for Disaster Management in Developing Countries* ». UIT, (2009).

[12] « *Satellite communications industry prepares response to future disasters* ». Werner D., (2018). Consulté à l'adresse : http://spacenews.com/satellite-communications-industry-prepares-response-to-future-disasters/

[13] « *2017 Hurricane Season: Lessons Learned for the Satellite Industry* ». Torrieri M., (2018). Consulté à l'adresse : http://interactive.satellitetoday.com/via/satellite-2018-show-daily-day-4/2017-hurricane-season-lessons-learned-for-the-satellite-industry/

[14] « *Kymeta Provided High-Speed Mobile Internet Access to Puerto Rico During Recovery Efforts* ». Business Wire (2018). Consulté à l'adresse : https://www.businesswire.com/news/home/20180313005612/en/Kymeta-High-Speed-Mobile-Internet-Access-Puerto-Rico

[15] « *Hurricane Irma and Maria* ». Emergency.lu (2017). Consulté à l'adresse : http://www.emergency.lu/missions/caribbean-hurricane-irma-2017/

[16] « *Haiti Hurricane Matthew 2016* ». Emergency.lu (2016). Consulté à l'adresse : http://www.emergency.lu/missions/hurricane-matthew-2016/

[17] « Syria Operation Overview ». Emergency Telecommunications Cluster (2013). Consulté à l'adresse : https://www.etcluster.org/sites/default/files/documents/20170727%20ETC%20factsheet%20-%20Syria_0.pdf

[18] Idem

3.1.1.2 Imagerie (observation de la Terre)

L'imagerie d'OT est de nouveau utilisée à toutes les étapes du cycle des catastrophes. D'après une étude de la revue « Science », l'utilisation de l'imagerie à l'appui de la gestion des catastrophes est passée de sept cas en 2000 à 123 cas en 2014[19]. L'augmentation de l'utilisation est en outre soutenue par les activations de la Charte internationale, avec 11 cas en 2001 contre 44 en 2017.

Les principales exigences en matière de données comprennent la livraison en temps voulu (en principe à partir de sources satellitaires multiples), en particulier lors d'une intervention en cas de catastrophe. Les crises humanitaires prolongées exigent un suivi constant sur une longue période. Les ministères du gouvernement civil et de la défense, y compris les ministères de la protection civile, sont les principaux utilisateurs des données d'OT pour la gestion des catastrophes. Des organisations intergouvernementales telles que le Programme alimentaire mondial (PAM), la Banque mondiale, les banques de développement régionales et l'UNESCO contribuent également aux efforts de secours en cas de catastrophe et de secours humanitaire. Parallèlement, le Programme des Nations Unies pour l'exploitation de l'information d'origine spatiale aux fins de la gestion des catastrophes sert de passerelle entre les premiers intervenants et les communautés spatiales. Bien souvent, les organisations non gouvernementales (ONG) (Médecins sans frontières, etc.) sont aussi les premiers intervenants et nécessitent l'utilisation de données géospatiales.

La Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » coordonne les efforts de secours en utilisant les données d'OT. La Charte vise à offrir un système unifié d'acquisition et de livraison des données satellites dans les cas de catastrophes d'origine naturelle ou humaine par l'intermédiaire d'utilisateurs autorisés. Les pays membres de la Charte internationale fournissent des images extraites de ressources nationales en vue de fournir un soutien en cas de catastrophe, notamment COSMO-Skymed (Italie), la série KOMPSAT (Corée du Sud), la série SPOT/Pleaides (France) et la série RADARSAT du Canada. Les États-Unis fournissent également des solutions de la série Landsat et de l'imagerie haute résolution dans le cadre d'un accord avec DigitalGlobe.

Jusqu'à présent, la plupart des activités se déroulent au cours des deux dernières étapes : lors de l'intervention en cas de catastrophe et dans le cadre des efforts de rétablissement ultérieurs. C'est le cas pour toutes les activités de gestion des catastrophes, et pas seulement pour l'utilisation des moyens spatiaux. La plupart des ressources vont également dans ces éléments. Le principal problème étant la nature imprévisible d'une catastrophe et la nécessité d'y répondre. Toutefois, pour certains types de catastrophes, des travaux supplémentaires sont en cours dans la zone d'atténuation où l'OT joue un rôle plus important. Par exemple :

> En cartographiant les plaines inondables, les pratiques d'utilisation des terres, l'urbanisation, etc. afin de fournir des indicateurs de risque d'inondation et de distribution des précipitations, ainsi que la collaboration du Royaume-Uni et de l'Australie sur le « système de prévision d'ensemble à court terme » (Short-term Ensemble Prediction System, STEPS) en vue de mieux surveiller les précipitations et de mettre en évidence les zones susceptibles de subir des inondations[20]. En outre, au sein des services de gestion des situations d'urgence de Copernicus se trouve le système européen de surveillance des inondations (European Flood Awareness System, EFAS), établi

[19] « Global trends in satellite-based emergency mapping ». Voigt S., *et al.* (2016). Sciences.

[20] « *Nowcasting* ». Met Office (2011). Consulté à l'adresse : https://www.metoffice.gov.uk/learning/making-a-forecast/hours-ahead/nowcasting

principalement à partir de données météorologiques combinées à des radars à synthèse d'ouverture (SAR)[21].

> En surveillant les zones boisées pour distinguer la végétation saine de la végétation compromise (carburant) et en utilisant les données météorologiques pour établir des modèles de précipitations ou d'irradiance solaire à l'appui de l'atténuation des feux de forêt. Le gouvernement australien, par l'intermédiaire du Bureau of Meteorology (BoM), utilise une combinaison de données du spectroradiomètre imageur à résolution moyenne (MODIS) et de données du radiomètre perfectionné à très haute résolution (AVHRR) pour surveiller les zones exposées aux incendies[22]. Auparavant, l'AVHRR était également utilisé pour mettre en place l'Atlas mondial des incendies de l'Agence spatiale européenne, qui surveille les activités à l'échelle mondiale.

> Enfin, en surveillant la topographie, l'altitude, l'utilisation et la déformation des terres au fil du temps pour fournir des données permettant de mettre en évidence les zones sujettes aux glissements de terrain. Des études pilotes sont en cours, notamment par l'intermédiaire des services de cartographie d'urgence Copernicus, qui utilisent des données interférométriques SAR permettant de surveiller les déplacements de terrain, en combinaison avec d'autres données de surface et météorologiques.

À la suite d'une catastrophe, ou lorsque la catastrophe se produit à l'intérieur et autour des zones urbaines, l'accent est mis sur des ensembles de données à haute résolution, tant optiques que SAR, afin de guider l'effort de secours avec autant de précision que possible. De plus, les données SAR jouent un plus grand rôle lorsqu'il s'agit de catastrophes associées à une grande couverture nuageuse, comme les inondations. L'émergence de solutions à moindre coût établies d'après l'approche de constellation est également intéressante – la collecte de données à plus haute fréquence pourrait appuyer les services liés à l'analyse de la détection des changements. Le fait de pouvoir capturer des images « avant et après » plus proches du temps réel permettra également de mieux appuyer les efforts de secours, ainsi que les réclamations d'assurance qui suivront.

3.1.1.3 Navigation par satellite

Les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) jouent un rôle essentiel dans la gestion des catastrophes en permettant de localiser avec précision et en temps voulu les repères terrestres, les bâtiments, les ressources des services d'urgence, les camps, etc. Combiné à l'imagerie d'OT et à d'autres renseignements du SIG, il permet de cartographier les zones sinistrées pour les opérations de sauvetage et de surveiller les opérations de rétablissement à long terme. Le GNSS aide également les météorologues et les scientifiques à caractériser et à prévoir les tremblements de terre, les tempêtes et les inondations. Le GPS, par exemple, est capable de mesurer les mouvements des plaques tectoniques avec une précision supérieure à 1 mm par an lorsqu'il est combiné à des capteurs au sol.[23]

---

[21] « *European Flood Awareness System (EFAS)* ». Commission européenne (2017). Consulté à l'adresse : https://www.efas.eu/

[22] « *Fire Weather Warnings* ». Bureau of Meteorology du gouvernement de l'Australie (2018). Consulté à l'adresse : http://www.bom.gov.au/weather-services/bushfire/

[23] « *Earthquakes and Other Natural Hazards: GNSS for Disaster Management* ». Hudnut K. (2011). Consulté à l'adresse : http://www.unoosa.org/pdf/icg/2011/icg-6/21-1.pdf

3.1.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LA GESTION DES CATASTROPHES AU CANADA

Lors d'une intervention en cas de catastrophe, l'utilisation de l'espace est nécessaire pour l'imagerie, les communications et la navigation. Ci-dessous figurent divers secteurs de retombées pour lesquels les ressources spatiales viennent appuyer les efforts de gestion des catastrophes. Cependant, cette sélection n'est certainement pas exhaustive, et des recherches sont en cours pour trouver d'autres moyens d'appuyer la gestion des catastrophes, comme l'utilisation de l'imagerie satellitaire afin de mieux prévoir et anticiper les catastrophes (p. ex. surveillance des mouvements de terrain en tant qu'avertissement précoce pour les glissements de terrain ou surveillance des plaines inondables pour évaluer les dommages potentiels des inondations). D'autres applications devraient également voir le jour à l'appui des demandes présentées à la suite d'une catastrophe, par exemple pour appuyer les réclamations d'assurance.

Pour l'imagerie, l'objectif principal est d'extraire des données afin de fournir des renseignements à jour aux organismes compétents et aux premiers intervenants qui aident à surveiller, à atténuer et à prévoir les impacts potentiels d'une catastrophe. Les exemples ci-dessous examinent les avantages de l'utilisation des données lors de catastrophes spécifiques. Les communications par satellite sont également essentielles : des communications sécurisées sont nécessaires pour appuyer les opérations de secours. Les exemples décrits dans cette étude concernent l'utilisation de la télémétrie à faible débit de données pour appuyer les systèmes de recherche et de sauvetage. COSPAS-SARSAT, une initiative mondiale basée à Montréal, appuie les opérations de recherche et de sauvetage à l'échelle mondiale. Les Canadiens bénéficient d'un temps de recherche réduit des personnes, ce qui contribue à sauver des vies.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES SÉLECTIFS DÉTERMINÉS

TYPE	AVANTAGE	
QUANTITATIF	VIES CANADIENNES SAUVÉES	• Depuis sa création, le système COSPAS-SARSAT a permis de sauver la vie de plus de 1 500 Canadiens et de plus de 32 000 personnes dans le monde entier.
	SOUTIEN AUX OPÉRATIONS DE RECHERCHE ET SAUVETAGE	• Le gouvernement canadien a économisé 10 millions de dollars par an dans les opérations de recherche et sauvetage grâce au système COSPAS-SARSAT qui a permis des recherches plus rapides.
	TIRER PARTI DES EFFORTS INTERNATIONAUX	• Le gouvernement canadien a activé la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » 13 fois afin de recevoir des images appuyant le suivi des catastrophes sur le territoire canadien.
	SOUTENIR LES EFFORTS DE SECOURS INTERNATIONAUX	• En date de juin 2018, la Charte avait été activée 576 fois. Dans le cadre de ces activations, les données de RADARSAT-1 et 2 ont appuyé environ les deux tiers des efforts d'intervention en cas de catastrophe, contribuant ainsi à atténuer les effets des catastrophes à l'échelle mondiale.
QUALITATIF	GESTION DES INONDATIONS	• Les données SAR ont été utilisées pour surveiller et appuyer les efforts de secours lors de l'inondation du Québec en 2017, appuyant ainsi le MDN dans ses opérations au sol.
	ENGAGEMENT DU PUBLIC DANS LES INTERVENTIONS EN CAS DE CATASTROPHE	• L'« Observateur de RNCAN » utilise des renseignements participatifs pour permettre au public de télécharger des données lors d'une catastrophe qui peuvent être utilisées pour valider des situations sur le terrain.

3.1.2.1 Gestion efficace des inondations

Au cours d'une intervention en cas de catastrophe, le Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre [CCCOT] recueille des données desquelles de l'information est extraite puis envoyée à SPC. SPC coordonne ensuite toutes les opérations sur le terrain afin de ne pas créer de confusion dans la chaîne de commandement. Il peut fournir des images directement aux gouvernements provinciaux qui ont la capacité d'analyser les images; s'ils ne disposent pas de cette capacité, cette étape peut être entreprise par les Services de géomatique d'urgence de Ressources naturelles Canada (RNCan) afin de fournir un soutien.

La majorité des services d'imagerie utilisés (> 95 %) sert à la surveillance des inondations et à l'analyse des embâcles. Cela reflète les aspects pratiques des catastrophes auxquelles l'imagerie satellitaire répond le mieux, ainsi que les besoins des Canadiens – les inondations et les feux de forêt étant les types de catastrophes naturelles les plus fréquents. **L'information tirée de l'imagerie satellitaire – principalement des données SAR de RADARSAT-2 et de Sentinel-1 – a par exemple été utilisée pour surveiller et appuyer les efforts de secours lors des inondations du Québec en 2017.** Cette information a été transmise au MDN pour appuyer la logistique, lorsque du personnel était nécessaire sur le terrain, par exemple, comme dans les zones présentant un risque d'inondation où il fallait mettre des sacs de sable. Cela a eu pour effet d'accroître l'efficacité du soutien logistique et de prévenir d'autres dommages aux biens qui auraient entraîné une augmentation des réclamations d'assurance et des répercussions sur les propriétaires. L'imagerie satellitaire a également permis d'obtenir une vue d'ensemble de l'évaluation, en notant toutefois que les zones inondées n'avaient pas encore été détectées par les autorités.

L'utilisation de l'« Observateur de RNCAN » est[24] également entrée en vigueur, en particulier dans les zones urbaines inondées qui nécessitent la validation d'images; les zones couvertes d'eau peuvent être confondues avec des zones concrètes. **Les renseignements participatifs provenant de l'application ont permis au public de télécharger des photos des zones inondées, qui ont ensuite été utilisées pour valider les images**. Par exemple, cette démarche a été mise en œuvre en délimitant mieux les zones inondables dans la région de Pierrefonds, à Montréal, ce qui a permis d'améliorer l'information fournie par le CCCOT à SPC et de mieux soutenir la logistique au sol. En soi, cela représente une tendance intéressante. Les renseignements participatifs remplacent les mesures in situ statiques sur lesquelles on se fiait précédemment, comme celles des stations météorologiques, par des données in situ de masse. C'est donc dire que l'on met à profit la population pour recueillir des données en temps réel.

3.1.2.2 Tirer parti de la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures »

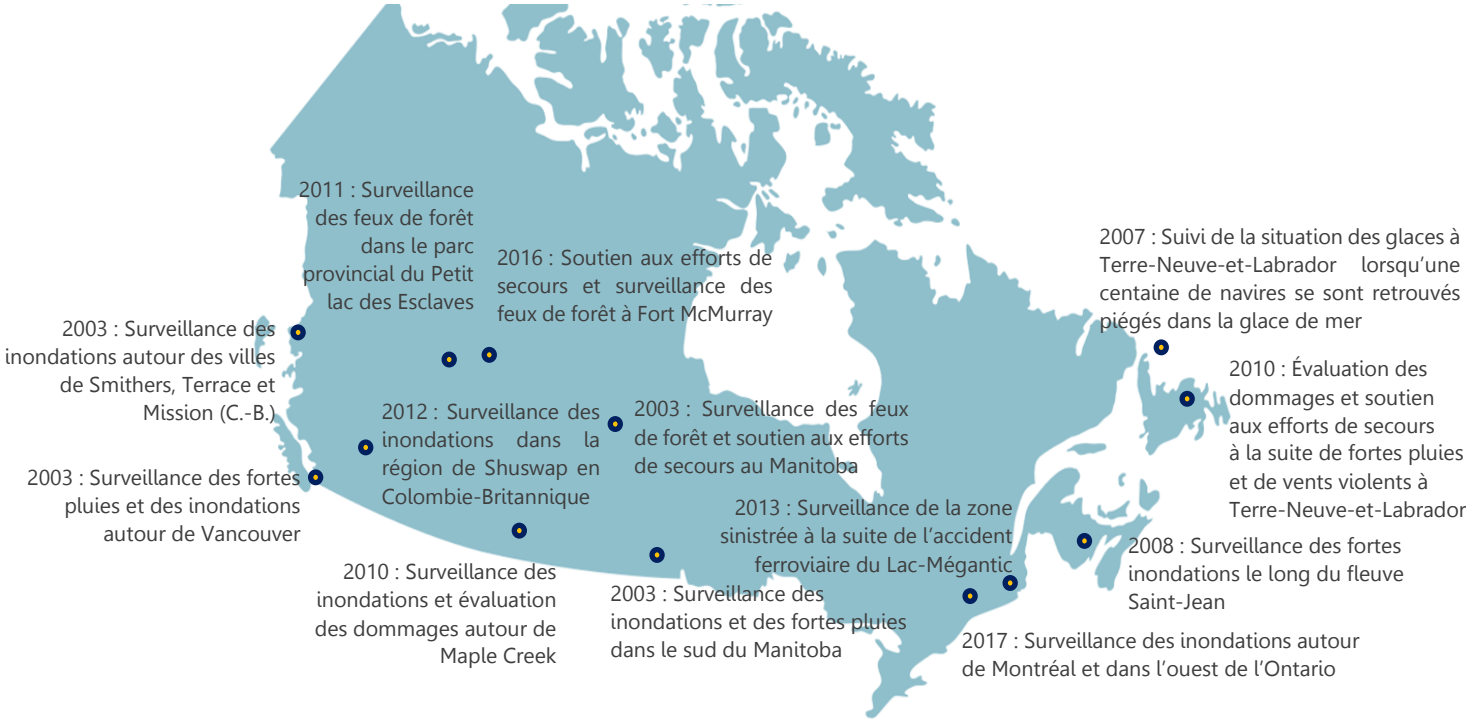
La Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » [la Charte] vise à coordonner l'attribution de tâches ainsi que l'acquisition et la diffusion des données en cas de catastrophe. Il est arrivé que SPC demande l'activation de la Charte pour demander du soutien. L'imagerie satellitaire est ensuite fournie par les partenaires de la Charte et coordonnée par un organisme central. En principe, l'un des membres de la Charte joue le rôle de gestionnaire de projet ou, lorsque la catastrophe se produit dans l'un des pays membres de la Charte, il est probable que l'agence spatiale du pays assume le rôle de coordination. Par conséquent, dans le cas d'activations canadiennes, l'ASC se charge de coordonner l'intervention.

Le Canada, par l'intermédiaire de l'ASC, a été l'un des premiers pays à adhérer à la Charte, en 2002. **Depuis l'entrée en vigueur de la Charte, SPC l'a activée 13 fois**, principalement en cas d'inondation. Dans ce

[24] L'application Observateur de RNCAN peut être téléchargée sur des appareils mobiles; elle permet au public de télécharger des images et de retransmettre de l'information avec une grande précision grâce aux systèmes de positionnement et aux données azimutales intégrés aux appareils.

genre de cas, les données SAR servent à cartographier l'étendue des inondations. Dans l'exemple ci-dessus concernant l'inondation au Québec, des ensembles de données provenant de membres de la Charte ont été utilisés après son activation par SPC. Parmi les autres événements concernant lesquels les partenaires de la Charte ont un soutien figurent plusieurs cas de feux de forêt, dont les principales applications sont le suivi de la situation et l'appui logistique sur le terrain, ainsi que l'accident ferroviaire du Lac-Mégantic, dont les images ont servi à évaluer les dommages sur le terrain. Toutes les activations de la Charte sont représentées sur le diagramme ci-dessous.

ACTIVATIONS CANADIENNES DE LA CHARTE INTERNATIONALE « ESPACE ET CATASTROPHES MAJEURES »



3.1.2.3 Soutenir les efforts de secours internationaux

En ce qui concerne les catastrophes naturelles et leurs répercussions sur la vie humaine, le Canada est relativement chanceux. L'activation de la Charte, par exemple, permet de surveiller les répercussions des tremblements de terre, des éruptions volcaniques et des tsunamis. Toutefois, en tant que membre de la Charte et grâce à d'autres mesures de maintien de la paix et de secours humanitaire, le Canada appuie les efforts mondiaux de secours en cas de catastrophe en fournissant des images satellites.

En date de juin 2018, la Charte a été activée 576 fois depuis sa création. Dans le cadre de ces activations, les données de RADARSAT-1 et 2 ont appuyé environ les deux tiers des efforts

d'intervention en cas de catastrophe, contribuant ainsi à atténuer les effets des catastrophes[25]. La participation du Canada à l'application de la Charte comporte plusieurs avantages :

> Exportation de l'expertise canadienne : mise en place de procédures opérationnelles et de normes en matière de gestion des données et de production de rapports.

> Couverture des catastrophes au Canada : intervention en cas de catastrophe au Canada, comme nous l'avons mentionné ci-dessus.

> Exploitation des données et des archives de RADARSAT : à ce jour, environ 1 700 images RADARSAT-1 et 2 ont été livrées à la Charte après leur activation. La Charte a permis d'accroître la visibilité du programme RADARSAT à l'échelle mondiale quant à ses capacités et aux capacités canadiennes en matière de technologie SAR.

> Développement et promotion de l'utilisation de RADARSAT : création de nouveaux domaines d'application, tels que la cartographie radargrammétrique, la mesure des profondeurs des colonnes d'eau, et techniques de fusion de données, etc., lesquels domaines peuvent être mis en valeur.

> Accroîssement de la visibilité du programme RADARSAT : communiqués de presse à la suite de catastrophes et démonstration de l'utilisation des données satellites. Par exemple, l'utilisation de l'imagerie RADARSAT-2 démontrant l'étendue des coulées de lave lors du récent événement volcanique du Kilauea (produits fournis par MDA pour l'USGS).

Les statistiques montrent que la majorité des images radar (y compris les images RADARSAT) fournies à la Charte servent à appuyer la gestion des inondations (66 % de toutes les données SAR fournies en 2016); les inondations représentent environ la moitié des activations de la Charte. De plus, 26 % de l'utilisation des données SAR sont liés à des événements océaniques ou éoliens, les autres types de catastrophes (incendies, éruptions volcaniques, tremblements de terre) étant plus limités[26]. Cela reflète les avantages qui découlent de l'exploitation des systèmes SAR, qui ne sont pas affectés par la couverture nuageuse et les conditions météorologiques; l'imagerie optique, en comparaison, est mieux adaptée à la surveillance des répercussions sur les paysages urbains.

Le Canada participe aussi à des opérations de secours plus vastes à l'échelle mondiale qui n'entrent pas dans le cadre de la Charte. Dans les cas ci-dessous, le CCCOT fournit des renseignements au MDN pour appuyer les opérations sur le terrain :

> En Afghanistan, le CCCOT surveille la fonte des neiges dans les régions montagneuses à l'aide des données RADARSAT-2 et MODIS. La fonte des neiges pourrait provoquer des inondations soudaines pouvant avoir des répercussions sur les camps de réfugiés dans la région. Des travaux ont également été effectués pour surveiller la quantité potentielle de neige en mesurant l'épaisseur de la neige à l'aide du capteur GRACE de cartographie gravimétrique.

> En réponse au tremblement de terre en Haïti, le CCCOT a fourni à l'Équipe d'intervention en cas de catastrophes du MDN de l'information sur les sources d'approvisionnement en eau et les aérodromes endommagés, en plus d'appuyer la logistique sur le terrain grâce aux données RADARSAT-2 et aux images obtenues dans le cadre de l'activation de la Charte.

---

[25] En 2017, on a demandé à l'ASC de fournir des images satellites en réponse à 31 des 45 événements qui ont déclenché l'activation de la Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » au cours de l'exercice 2017-2018. L'ASC a fourni 140 acquisitions RADARSAT-2 (54 images archivées et 86 nouvelles images) aux pays touchés.

[26] Charte internationale « Espace et catastrophes majeures » 2016, rapport annuel

3.1.2.4 Éliminer l'aspect « recherche » des activités de recherche et sauvetage

Le principal avantage de l'utilisation des systèmes satellitaires pour la recherche et le sauvetage est de réduire le temps de recherche. Cela présente des avantages évidents pour les personnes ayant besoin d'aide et permet de réaliser des économies en réduisant les ressources utilisées au cours d'une longue période de recherche. En utilisant le système de satellites COSPAS-SARSAT, les personnes peuvent activer leurs balises personnelles en cas de détresse. La quantité de balises de détresse en circulation au sein de la population canadienne a considérablement augmenté, passant de moins de 10 000 en 2006 à plus de 50 000 en 2017 (en outre, le gouvernement compte plus de 3 000 balises militaires). On compte parmi les utilisateurs des travailleurs des régions inhospitalières ou éloignées du pays, ainsi que de nombreux aventuriers qui pratiquent des activités de plein air, par exemple lors de randonnées pédestres dans des régions éloignées.

D'autres sociétés commerciales exploitent des balises de détresse semblables. Le dispositif commercial de localisation personnelle SPOT offre un service semblable qui utilise le réseau satellite Globalstar. Lorsque le signal est activé, le service SPOT communique avec l'administration pertinente (il passera donc, une fois encore, par SPC). Le système prétend avoir contribué à sauver la vie d'environ 6 000 personnes à l'échelle de la planète[27].

LE SYSTÈME COSPAS-SARSAT

À la rescousse des Canadiens depuis 1982

Au total, le gouvernement fédéral répond à lui seul à environ 2 000 alertes COSPAS-SARSAT chaque année, mais ces alertes ne se terminent pas toutes par une opération de recherche et de sauvetage. Certaines des alertes sont résolues avant même l'utilisation du système COSPAS-SARSAT, et d'autres sont tout simplement de fausses alertes. Cependant, cela a quand même conduit à une moyenne de 50 à 80 appels de détresse validés par an depuis 2010. Certains de ces appels permettent directement de sauver des vies : **depuis la création du COSPAS-SARSAT, on estime que le système a permis de sauver plus de 1 500 vies au Canada.** Dans le monde, cinq personnes sont sauvées chaque jour, et on lui attribue le mérite d'avoir aidé à sauver plus de 32 000 vies depuis 1982.

Après l'activation d'une balise de détresse, le signal est reçu par le Centre canadien de contrôle des missions (CCCM) à la base des Forces canadiennes de Trenton. Ces données sont transmises aux centres conjoints de sauvetage de SPC pertinents afin d'enquêter et de coordonner l'intervention. Il se peut qu'il faille encore un certain temps pour atteindre la personne en détresse. L'éloignement et la proximité d'une équipe de recherche et de sauvetage (au Canada, il y en a 300 au total, soit 10 000 personnes formées) sont des facteurs clés, tout comme les conditions météorologiques. Cela signifie que le sauvetage peut durer de quelques heures à quelques jours. Toutefois, **on estime que le système COSPAS-SARSAT permet d'économiser, au total, 10 millions de dollars par an en frais de recherche et de sauvetage**. Les équipes de recherche et de sauvetage sont ensuite appuyées par une technologie satellitaire : GPS, téléphones satellites (comme Iridium) et données cartographiques pouvant utiliser l'imagerie satellite.

SPC coordonne l'effort de soutien avec les premiers intervenants, y compris les gouvernements provinciaux, la sécurité civile, la GRC, le MDN, la garde côtière, etc. Au total, on compte environ 10 ministères fédéraux qui peuvent appuyer les opérations de recherche et de sauvetage, plus les ministères provinciaux. Cela dépend en partie du type d'opérations. La recherche et le sauvetage au sol, c'est-à-dire l'activation d'une balise de détresse par un randonneur, relèvent de la compétence provinciale, tandis que l'activation maritime ou aéronautique relève de la compétence du gouvernement fédéral.

[27] Consulté à l'adresse : https://www.findmespot.ca/en/index.php?cid=101

3.1.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA

3.1.3.1 Solutions satellitaires

Dans l'éventualité d'une catastrophe, il est primordial que l'information pertinente soit fournie en temps opportun. Ainsi, qu'il s'agisse d'imagerie ou de communication, il est essentiel d'avoir les bons canaux pour recevoir des données avec une faible latence. Le CCCOT note qu'au cours d'un sinistre, il est possible de recevoir les données 15 minutes après leur acquisition, et de livrer le produit à un appareil portatif dans un délai total de 30 minutes après leur acquisition. Cette information en temps quasi réel donne aux premiers intervenants le temps nécessaire pour réagir à une situation en pleine évolution.

Pour la cartographie des inondations, le CCCOT utilise les données de RADARSAT-2, Sentinel-1 et Sentinel-2. Les données Sentinel-1 sont reçues directement par l'intermédiaire de sa propre antenne exclusive. Pour les inondations, l'accent est mis principalement sur les solutions SAR – la raison principale étant que les inondations sont associées à la couverture nuageuse, ce qui limite les possibilités d'opter pour des solutions optiques. D'autres données sont fournies sur une base volontaire, souvent avec la médiation de l'ASC : Les données ALOS (JAXA) et de la série Resurs (ROSCOSMOS) ont été envoyées à l'appui de la gestion des inondations au Québec en 2017; et les données des séries KOMPSAT (Corée) et Airbus (par l'intermédiaire du centre DLR) ont été envoyées à l'appui de la surveillance des feux de forêt de Fort McMurray. Il est à noter que les échanges bilatéraux de données en cas de catastrophe peuvent fonctionner mieux que la Charte, car les données peuvent être reçues plus rapidement. Dans l'ensemble, on s'attend à une croissance de l'utilisation de l'imagerie pour appuyer la gestion des catastrophes à l'échelle provinciale. SPC note que les sept provinces à qui elle a fourni des solutions ont pleinement réalisé les avantages découlant de l'appui à la gestion des urgences et à la préparation adéquate au prochain événement.

Pour les opérations de recherche et de sauvetage, COSPAS-SARSAT est composé de cinq satellites évoluant en orbite LEO et de cinq satellites en orbite GEO (avec une disponibilité supplémentaire si nécessaire). Les charges utiles du système se trouvent à bord des satellites météorologiques NOAA et EUMETSAT installés en orbite basse terrestre (LEO) et en orbite terrestre géosynchrone (GEO). Une avancée relativement récente a été le passage à une fréquence de 406 MHz qui permet de communiquer avec la personne ayant activé la balise de détresse. Cela ajoute un élément de sécurité supplémentaire et permet également d'annuler les activations accidentelles : les fausses alertes prennent encore du temps et des ressources. À l'avenir, le système intégrera des satellites fonctionnant en orbite moyenne (MEO), avec des charges utiles qui seront transportées par les satellites de navigation futurs des constellations Galileo et Glonass.

3.1.3.2 Solutions de rechange

Selon le type de catastrophe, les options de rechange à l'imagerie satellitaire peuvent offrir une meilleure solution. Par exemple, la gestion des feux de forêt à l'aide de l'imagerie satellitaire ne présente qu'une valeur limitée. Il est possible d'évaluer le risque d'incendie, comme la détection des « points chauds », c'est-à-dire les zones qui s'assèchent et qui sont sujettes à la propagation du feu en raison de la direction du vent (des systèmes tels que AVHRR et MODIS sont utilisés). La gestion de la situation d'incendie elle-même est un défi en raison de plusieurs facteurs. Premièrement, les données optiques sont mieux adaptées à la gestion des feux de forêt, mais elles sont affectées par la fumée produite par les feux; et deuxièmement, la capacité de traiter et de recevoir des données en temps réel est limitée. Un incendie peut changer de direction rapidement; une image satellite peut donc être demandée et être reçue, mais à ce moment-là, la zone peut être déjà brûlée ou le feu peut avoir changé de direction. Cela signifie qu'il peut être difficile de charger le satellite de recueillir les données souhaitées.

Le CCCOT a noté qu'en dépit de la bonne volonté des fournisseurs de données à l'échelle mondiale, la plupart des données optiques fournies pendant l'incendie de Fort McMurray n'ont pu être utilisées. Quant aux feux de forêt, la latence était également un problème dans le cas de l'activation de la Charte. On constate encore des retards dans la réception des données à l'appui des efforts déployés. La réception des images peut prendre de 24 heures à quatre jours. Dans le cas des incendies de Fort McMurray, cela signifie que les données n'ont qu'une utilité pratique limitée puisque les zones touchées par les feux de forêt évoluent rapidement. Les données radar ont également une valeur plus limitée étant donné les paramètres des renseignements qui peuvent être recueillis grâce à ces systèmes.

L'Alberta Emergency Management Agency note que les meilleures données à l'appui de Fort McMurray proviennent de l'imagerie rapide de DigitalGlobe, car les données sont mises à jour au moment de leur collecte. Autrement, le seul véritable système pratique de collecte de données aujourd'hui est celui des avions dotés de capacités d'imagerie complètes qui peuvent transmettre les données en temps réel par liaison descendante. Les aéronefs à voilure fixe peuvent également voler sous le plafond nuageux. Les drones, bien qu'utiles, nécessitent des permis de vol dont le traitement peut être long.

Les avions et les drones sont cependant moins pratiques pour surveiller les inondations. Il s'agit d'un facteur de la couverture requise sur le terrain. Ces solutions deviennent moins rentables, alors que le satellite peut assurer une surveillance régulière à grande échelle.

3.1.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future

Les budgets sont un enjeu clé. Les images utilisées sont soit exclusives au Canada (série RADARSAT), gratuites (série Sentinel) ou fournies sur une base volontaire – comme c'est souvent le cas des fournisseurs gouvernementaux et commerciaux lors d'une catastrophe. SPC indique qu'elle achète, à l'occasion, des images commerciales au moyen d'« offres à commandes principales et nationales pour l'imagerie satellitaire commerciale » et qu'elle les diffuse au moyen du « catalogue du Cadre national d'observation des perturbations » de RNCan si les budgets des projets le permettent. SPC n'a pas commandé d'images optiques commerciales à très haute résolution en 2017, mais en 2018 elle a acheté, jusqu'à maintenant, quatre images pour des problèmes liés à la sécurité frontalière.

Des tâches conflictuelles peuvent également découler de l'utilisation de RADARSAT-2 si d'autres utilisateurs finaux ont demandé les mêmes images. On ne s'attend pas à ce que la question relative à la commande de données soit résolue avec l'augmentation de la capacité apportée par la MCR, car il est possible que la politique relative à l'échange de données connaisse des difficultés. Selon nos prévisions, les demandes du MDN et du CIS pourraient entraîner des problèmes d'accès aux données pour d'autres ministères fédéraux. La dotation en personnel peut également être un facteur. L'utilisation de l'imagerie RADARSAT-2 est devenue essentielle pour les partenaires provinciaux de SPC; du temps est donc consacré à la commande d'images et cela devient un fardeau. SPC n'a pas de personnel spécialisé pour recevoir les demandes d'imagerie des partenaires provinciaux ou pour communiquer avec le bureau des commandes de l'ASC en ce qui concerne les livraisons et les conflits de commandes.

L'infrastructure de soutien peut également poser problème. L'architecture informatique actuelle n'est pas jugée adéquate pour appuyer de grandes quantités de données. La MCR augmentera également considérablement le volume de données. Dans l'idéal, un ordinateur centralisé à haut rendement pourrait remplir les fonctions de stockage et de diffusion des données. L'incendie de Fort McMurray a également confirmé le problème que pose l'infrastructure de soutien. L'Alberta Emergency Management Agency et la Direction provinciale de lutte contre les feux de forêt ont été inondées de données sans disposer des ressources nécessaires pour évaluer toutes les images fournies par la Charte et les analyser. Elles ont reçu

1,7 pétaoctet de données, mais à différents niveaux de traitement. Dans l'idéal, les données devaient être toutes prêtes à être intégrées au SIG à la livraison et scannées pour déterminer la couverture nuageuse[28].

L'ASC fait remarquer que le Canada n'offre pas, à l'heure actuelle, de services à valeur ajoutée dans le cadre de la Charte, comme le font d'autres pays (soit par l'intermédiaire de l'agence spatiale, soit en sous-traitance à un fournisseur tiers de services d'analyse à délai d'exécution rapide). Il est reconnu que les services fournis au gouvernement de l'Alberta leur auraient été plus utiles que la simple fourniture de données. C'est une question qui est actuellement à l'étude. L'ASC cherche des moyens de développer des services de soutien par le biais de l'initiative des services de cartographie d'urgence Copernicus et du programme de cartographie d'urgence de RNCan. La Charte soutient également le développement d'une plateforme de traitement qui offrira un balayage centralisé de toutes les données afin d'appuyer la validation de la convivialité des données.

AGRICULTURE

3.2 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DE L'AGRICULTURE

L'agriculture englobe à la fois la surveillance gouvernementale aux fins de production de rapports et d'évaluation à l'échelle nationale et régionale, et la surveillance commerciale pour soutenir les pratiques commerciales et améliorer l'efficacité de l'industrie agricole. Les utilisateurs finaux sont donc répartis entre plusieurs paliers de gouvernement et le secteur privé. On cherche également, de manière plus générale, à assurer la sécurité alimentaire (par l'intermédiaire d'organisations telles que le Programme alimentaire mondial) et le suivi régional des subventions agricoles (telles que la Politique agricole commune de l'Union européenne).

Le secteur (principalement) commercial s'adapte également aux nouvelles techniques agricoles afin de rendre compte des enjeux tels que la santé des cultures, le rendement potentiel et les moyens d'accroître la productivité. Le secteur de l'« agriculture de précision » est en plein essor et permet aux agriculteurs d'utiliser les nouvelles technologies (système de guidage des machines, GPS, drones, etc.) pour gérer les facteurs propres aux sites qui ont un impact sur la production agricole. Ces nouvelles technologies couvrent des facteurs tels que l'irrigation de précision, la gestion plus large des données, le soutien logistique, mais aussi des domaines dans lesquels les technologies satellitaires jouent un rôle plus important, comme l'utilisation des drones, des véhicules agricoles automatisés et de la télédétection (aérienne et par satellite)[29].

Afin d'appuyer ces activités, l'utilisation des biens spatiaux apparaît dans plusieurs domaines, même si, à ce stade-ci, il y a un chevauchement plus limité des applications : Le rôle principal de l'imagerie d'OT est d'utiliser les données optiques et SAR multispectrales afin d'appuyer l'information sur l'état de la

[28]Il peut être important de noter que même si les organismes mondiaux qui produisent des images d'OT connaissent très bien la Charte, bien souvent, les utilisateurs finaux comme les ministères provinciaux ne la connaissent pas. C'était la première fois que l'Emergency Management Agency demandait à SPC d'activer la Charte. Bien qu'il ne s'agisse pas de l'objet de l'étude, cette situation offre une perspective intéressante quant aux aspects pratiques de la Charte pour l'utilisateur final, en l'occurrence ceux qui guident les premiers intervenants ou les premiers intervenants eux-mêmes. Ces groupes ont besoin de renseignements de qualité adéquats et fournis en temps opportun. Le fait de fournir trop de données peut rendre l'utilisation opérationnelle moins efficace.

[29] « *Precision Farming Cheating Malthus with Digital Agriculture* ». Goldman Sachs (2016). Consulté à l'adresse : https://docdrop.org/static/drop-pdf/GSR_agriculture-N1sH6.pdf

végétation, la santé des cultures, le rendement, etc. Le rôle principal de la navigation par satellite est d'appuyer la technologie des UAV et des drones en agriculture de précision, tandis que les communications par satellite servent principalement à transmettre l'information provenant de sources éloignées (principalement des drones) aux récepteurs au sol et à transmettre des données provenant de la collecte in situ.

L'agriculture de précision devrait continuer à se développer en tant qu'industrie. La déréglementation de l'utilisation des drones commerciaux constitue un moteur pour l'industrie car elle permet de recueillir des images à très haute résolution (< 5 cm), y compris des solutions hyperspectrales, dans le but d'appuyer les mesures relatives aux propriétés chimiques et biophysiques des cultures. L'utilisation accrue de la navigation par satellite permettra de mieux orienter et de recueillir les données avec plus de précision. Les solutions satellitaires sont également de plus en plus performantes, et les nouvelles constellations recueilleront des données plus fréquemment à des résolutions plus élevées et à des coûts de données et de services qui devraient diminuer.

Le recours à l'agriculture de précision donne des résultats. La majorité des agriculteurs (85 % et plus) qui utilisent des techniques d'agriculture de précision indiquent avoir recours à des applications plus rentables, et font état d'économies de coûts de 19 à 39 dollars par acre selon le type de culture[30]. En outre, le marché total visé est estimé à 240 milliards de dollars, soit environ 20 % des 1,2 billion de dollars de la production agricole mondiale en 2015[31]. De façon générale, les principaux avantages de l'agriculture de précision sont la réduction de la surfertilisation des champs et la perte potentielle de rendement et de productivité due à une application inadéquate de l'engrais.

3.2.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION

3.2.1.1 Communications par satellite

Bien que les communications par satellite soient utilisées pour faciliter l'acheminement de l'information générée par les ressources agricoles in situ, ce domaine d'utilisation est considéré comme périphérique, et les questions de communications plus générales pour la communauté agricole sont abordées, en partie, dans la prochaine section sur les collectivités rurales et éloignées.

3.2.1.2 Imagerie (observation de la Terre)

L'utilisation de l'imagerie satellitaire, la source des données utilisées, les personnes qui l'utilisent et le but de cette utilisation sont souvent une question d'échelle. À l'échelle mondiale, il est nécessaire de surveiller la sécurité alimentaire; à l'échelle nationale, l'objectif est plutôt de surveiller l'utilisation des terres, tandis qu'à l'échelle industrielle, il s'agit de surveiller les zones agricoles individuelles pour mieux soutenir la productivité et évaluer la santé des cultures :

> Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [FAO], la production alimentaire doit augmenter de 70 % d'ici 2050 afin de gérer l'augmentation prévue de la population

[30] « *Precision Ag works, Special Report* ». Institut PrecisionAg (2008). Consulté à l'adresse : http://www.dickey-john.com/_media/PrecisionAgWorks-LessonsfromtheFrontLine.pdf

[31] « *Precision Farming Cheating Malthus with Digital Agriculture* ». Goldman Sachs (2016). Consulté à l'adresse : https://docdrop.org/static/drop-pdf/GSR_agriculture-N1sH6.pdf

mondiale[32]. Sur la scène mondiale, des initiatives telles que le « Earth Observations for Food Security and Agriculture Consortium » (EOFSAC) de la NASA utilisent une série de données de missions de surveillance de l'environnement de la NASA. L'imagerie provenant de satellites comme Terra et Aqua permet d'obtenir des images multispectrales avec une couverture étendue et à faible résolution, avec l'appui d'autres missions ciblées (comme le SMAP, Soil Moisture Active Passive) et d'ensembles de données météorologiques[33].

> À l'échelle nationale, les pays rendent compte (le plus souvent) de manière saisonnière de l'utilisation des terres à des fins agricoles afin de suivre tout changement important et de fournir, de soutenir et de contrôler les subventions agricoles. Parmi les solutions satellitaires couramment utilisées, citons les données Landsat (car elles sont disponibles gratuitement) ainsi que certaines solutions commerciales telles que la série SPOT et la constellation Rapideye. Par exemple, Landsat est utilisé afin d'estimer la production agricole et de fournir des statistiques agricoles, entre autres, pour les rapports fournis au Département de l'agriculture des États-Unis[34]. Au Royaume-Uni, les rapports sur la PAC de l'U.E. par l'intermédiaire de l'Agence pour les paiements ruraux réduisent considérablement les coûts : l'évaluation d'une ferme par un satellite trois fois moins cher que l'envoi d'un inspecteur sur le terrain (180 dollars au lieu de 490 dollars par ferme)[35].

> L'agriculture de précision est un domaine en développement pour l'OT par satellite et s'impose de plus en plus comme une application à partir de solutions aériennes, telles que les drones. Le soutien aux applications agricoles est le premier marché pour les données d'imagerie et les services effectués avec des drones; Euroconsult estime la valeur du marché à environ 500 millions de dollars en 2016, avec la possibilité de passer à 4,5 milliards de dollars en 2025[36]. En revanche, le marché de l'imagerie satellitaire pour l'agriculture de précision n'est estimé actuellement qu'à 30 ou 40 millions de dollars (le marché total des données et des services agricoles est estimé entre 500 et 550 millions de dollars en 2016)[37]. Il existe actuellement peu d'offres de services satellitaires spécialisés, comme le service « Farmstar » proposé par Airbus.

L'émergence de nouvelles constellations peu coûteuses, capables de fournir des données multispectrales à haute résolution (au moins 1 m), avec une capacité de réobservation très fréquente et à moindre coût, est un facteur clé dans l'utilisation future de l'imagerie par satellite. On ne s'attend pas à ce que les satellites engloutissent l'ensemble du marché de l'imagerie réalisée à l'aide de drones – les drones pourront toujours offrir des résolutions au sol encore plus élevées ainsi qu'une imagerie hyperspectrale à haute résolution, mais les données peuvent être utilisées de façon complémentaire : le satellite a l'avantage d'offrir une imagerie à couverture étendue et permet des réobservations fréquentes, alors que les coûts d'exploitation peuvent être élevés pour la collecte continue de données par l'intermédiaire de drones et sur une zone plus étroite.

---

[32] « *2050: A Third More Mouths to Feed* ». FAO (2009). Consulté à l'adresse : http://www.fao.org/news/story/fr/item/35656/icode/

[33] « *Satellite Instruments for Food Security* ». EOFSAC (2018). Consulté à l'adresse : http://eofsac.org/satellite-instruments-food-security

[34] « *Landsat and Agriculture—Case Studies on the Uses and Benefits of Landsat Imagery in Agricultural Monitoring and Production* ». USGS (2017). Consulté à l'adresse : https://pubs.usgs.gov/of/2017/1034/ofr20171034.pdf

[35] « *Spying on Europe's farms with satellites and drones* ». Peter L. (2012). Consulté à l'adresse : http://www.bbc.com/news/world-europe-16545333

[36] « *Remotely Piloted Aircraft Systems Market* ». Euroconsult (2017).

[37] « *Satellite-based Earth Observation, Market Prospects, 10e édition* ». Euroconsult (2017).

3.2.1.3 Navigation par satellite

Les systèmes de navigation par satellite, telles les constellations du GNSS ou GPS en orbite moyenne sont au cœur de l'essor des technologies agricoles de précision. Cette navigation permet aux utilisateurs de fusionner la collecte de données en temps réel avec des renseignements de positionnement précis afin d'obtenir une analyse géospatiale précise et efficace. L'Amérique du Nord est la région qui mène la transition vers l'agriculture de précision. Les utilisateurs finaux de la région ont acheté 400 000 appareils GPS intégrés pour les activités agricoles en 2017, les prévisions du marché atteignant 1,3 million d'unités d'ici 2025[38].

Historiquement, les contraintes principalement attribuables au manque de moyens techniques et financiers empêchaient les agriculteurs d'appliquer des stratégies spécifiques en matière de traitement des sols et des plantes, de rendement des cultures et d'application de produits chimiques afin de maximiser leur production. Dans la plupart des cas, une approche de production uniforme a été adoptée pour les opérations terrestres. Le développement de nouveaux systèmes GPS ou GNSS intégrés pour les activités agricoles a mis en lumière les avantages de la microgestion des champs (agriculture de précision). Du coup, le prix de l'équipement et des services est devenu plus précis, abordable et pratique pour les travailleurs[39]. De nombreux avantages peuvent être déterminés en intégrant l'utilisation de la navigation par satellite dans les activités agricoles, tels que la réduction de la consommation de carburant, la réduction des émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, ainsi que le gain de temps des agriculteurs, l'utilisation réduite d'engrais et l'amélioration de la santé des champs et des cultures. Les principaux domaines d'application sont le guidage et la direction automatique des tracteurs, les technologies à taux variable, la surveillance de l'état du sol et le suivi du bétail, ainsi que le soutien du marché émergent des UAV pour l'agriculture.

- Le guidage et la commande automatique de la direction de la machinerie agricole au moyen d'appareils GPS représentent l'application la plus utilisée dans l'agriculture de précision – ce qui correspond à 66 % (ou 250 000 unités) de la demande totale en équipement GPS/GNSS en 2016[40]. Des entreprises comme Trimble mettent aujourd'hui en place une gamme complète de systèmes de direction automatisés qui s'étendent du pilote automatique à l'équipement de direction assistée. Ces systèmes donnent lieu à une réduction des erreurs et des chevauchements qui surviennent en orientant manuellement les tracteurs, ce qui permet de réaliser des économies de carburant et de temps, ainsi qu'une réduction des coûts de fonctionnement[41].
- Les technologies qui combinent l'utilisation de capteurs au sol et de données GPS, permettant aux utilisateurs d'ajuster l'épandage de produits chimiques dans un champ en fonction des besoins des cultures, sont de plus en plus utilisées; 67 000 unités ont été achetées en 2016. Par exemple, des capteurs déployés sur le terrain permettent de mesurer la réflectance des cultures, ce qui permet d'évaluer les besoins en engrais ou autres produits par l'intermédiaire d'algorithmes agronomiques spécifiques et de coupler les renseignements avec les systèmes GPS pour un

---

[38] « *GNSS Market Report Issue 5* ». GSA (2017). Consulté à l'adresse : https://www.gsa.europa.eu/market/market-report

[39] « *Agriculture* ». GPS.gov (2018). Consulté à l'adresse : https://www.gps.gov/applications/agriculture/

[40] « *GNSS Market Report Issue 5* ». GSA (2017). Consulté à l'adresse : https://www.gsa.europa.eu/market/market-report

[41] « *Tractor, Implement and Row Guidance Steering System* ». Trimble (2018). Consulté à l'adresse : https://agriculture.trimble.com/precision-ag/products/steering-systems/

traitement efficace[42]. D'autres utilisations pratiques de la navigation par satellite couplée à des capteurs au sol peuvent viser l'identification des niveaux de salinité.

> Des applications GPS permettent d'effectuer le suivi du bétail. Les méthodes traditionnelles ne permettent pas d'identifier, de localiser ou de compter rapidement et efficacement le nombre d'animaux d'un troupeau. Les animaux sont suivis grâce à des numéros d'identification fixés à l'aide d'étiquettes.

> Les UAV équipés d'un GPS sont considérés comme un secteur naissant, mais en pleine croissance, pour ce qui est de la technologie dotée d'un système GPS à l'appui de l'agriculture de précision. Selon le rapport de 2017 sur le marché du GNSS, les producteurs américains de maïs, de soja et de blé devraient pouvoir économiser jusqu'à 1,45 milliard de dollars par an en introduisant l'utilisation des drones dans leurs activités. La demande mondiale en drones devrait atteindre 70 millions d'unités en 2025, et 80 % de cette demande sera destinée aux fins de l'agriculture de précision[43].

3.2.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR L'AGRICULTURE AU CANADA

Les avantages pour l'agriculture portent principalement sur l'utilisation des systèmes de navigation et d'imagerie afin de fournir des données visant à mieux appuyer les pratiques agricoles à l'échelle nationale, provinciale et individuelle, c'est-à-dire pour appuyer les politiques nationales visant à mieux surveiller les pratiques agricoles et à accroître l'efficacité des activités agricoles.

La pratique de « l'agriculture de précision » est un concept de gestion agricole basé sur l'observation, la mesure et la réponse à différentes variables agricoles qui peuvent soutenir le rendement ou réduire les coûts et l'impact environnemental. Elle comprend l'utilisation de l'automatisation des véhicules agricoles et de la technologie à débit variable (pour la dispersion des semences) ainsi que l'utilisation de la technologie satellitaire. À cet égard, l'utilisation de véhicules agricoles équipés d'un GPS devient de plus en plus courante, en particulier dans les grandes exploitations agricoles où la rentabilité a le plus d'impact. L'utilisation de l'imagerie satellitaire est encore naissante, mais des entreprises de services émergent et obtiennent des résultats significatifs grâce à l'utilisation de données. On s'attendrait à ce que ce nombre augmente encore à mesure que l'utilisation du procédé d'OT s'améliore.

Dans la section ci-dessous, quelques exemples spécifiques sont donnés pour illustrer l'utilisation de l'espace au profit du secteur agricole. Ils ne sont pas considérés comme les seuls avantages qui peuvent en résulter. Il convient de prendre en note le document soumis par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) qui énumère plus de quarante études de cas individuelles sur les avantages à la suite des commentaires des utilisateurs finaux des diverses cartes publiées par AAC (y compris la carte de l'inventaire annuel des récoltes et les cartes sur les conditions hebdomadaires des cultures)[44]. Le tableau résume les avantages dont il a été question au cours de la phase de consultation à l'appui de la présente étude.

---

[42] « *N-Sensor – variable rate nitrogen* ». Yara (2018). Consulté à l'adresse : http://www.yara.co.uk/crop-nutrition/Tools-and-Services/n-sensor/

[43] « *GNSS Market Report Issue 5* ». GSA (2017). Consulté à l'adresse : https://www.gsa.europa.eu/market/market-report

[44] « *Exemples de cas d'utilisation des produits d'observation de la Terre du CAGOT de l'AAC* » soumis à l'étude par AAC

RÉSUMÉ DES AVANTAGES SÉLECTIFS DÉTERMINÉS

TYPE	AVANTAGE	
QUANTITATIF	AMÉLIORATION DES PRATIQUES AGRICOLES	• Au cours des cinq dernières années, les gouvernements provinciaux ont économisé 75 millions de dollars en améliorant les pratiques agricoles afin de prévenir l'érosion des sols grâce à l'imagerie satellitaire.
	AUTORISATION DE L'AGRICULTURE DE PRÉCISION	• L'utilisation d'équipements agricoles dotés d'un dispositif de navigation par satellite (GPS) pour soutenir l'agriculture de précision a permis aux agriculteurs d'économiser entre 500 et 550 millions de dollars par an en ce qui concerne l'amélioration du rendement et l'utilisation plus efficace des semences, des engrais et de l'irrigation.
		• L'utilisation de la navigation par satellite en vue de soutenir l'agriculture de précision permet une économie de coût de 10 à 25 dollars par acre.
		• L'utilisation combinée de l'imagerie satellitaire et de données météorologiques in situ pour appuyer les pratiques agricoles permet une économie de 25 à 50 dollars par acre.
	OUVERTURE DE NOUVEAUX MARCHÉS	• L'utilisation de l'imagerie satellitaire afin d'appuyer la réglementation croissante de l'industrie du canola a ouvert un marché d'exportation vers l'Union européenne évalué entre 100 et 200 millions de dollars par an pour les agriculteurs canadiens.
QUALITATIF	SOUTIEN À UNE POLITIQUE PLUS GÉNÉRALE	• Les cartes agricoles par satellite sont parmi les plus téléchargées sur le portail de données ouvertes du gouvernement du Canada. Ces cartes appuient les décideurs et les meilleures pratiques des agroentreprises à l'échelle du Canada.
	RENTABILITÉ DES AGROENTREPRISES	• Soutien pratique aux agroentreprises. Évaluer la superficie et la valeur de la couverture terrestre, la taille des champs, la définition des limites, etc.
	SOUTIEN AUX POLITIQUES D'UTILISATION DES TERRES	• Appui aux politiques de gestion des terres partout au Canada. Par exemple, en étant en mesure de surveiller les zones sujettes aux inondations, de mieux gérer le développement urbain pour ce qui est de la gestion de l'eau et l'aversion des risques en changeant l'écosystème local, de promouvoir des mécanismes visant à soutenir la croissance des fleurs sauvages (pour promouvoir les populations d'abeilles) et de surveiller les impacts agricoles sur les sources d'eau locales.

3.2.2.1 Amélioration de la gestion des terres

L'utilisation de l'imagerie satellitaire permet aux agriculteurs d'élaborer des plans améliorés de gestion des terres pour l'épandage d'éléments nutritifs, notamment la manière et la période d'épandage du fumier, la réduction de l'impact du ruissellement en surface (cartographie hydrologique et des élévations) et la contribution à la planification de la quantité exacte d'engrais à utiliser en fonction de la santé des cultures. Les données satellitaires sont couramment utilisées en combinaison avec d'autres sources, telles que les cartes topographiques et les mesures in situ (telles que la température, la chimie) afin de fournir des renseignements sur le moment et la manière de traiter les cultures.

Les recherches menées au sein du **MAAARO ont démontré que la rentabilité de l'utilisation de l'imagerie satellitaire avait un rapport de 1:11-13 en termes de dollars investis par rapport au rendement.** Ces faits étaient fondés sur une évaluation de base des coûts et des avantages à l'aide des données recueillies par le Département de l'Agriculture des États-Unis et l'ONU. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et données spécifiques recueillies en Ontario sur un certain nombre de variables liées au sol pour calculer les impacts des problèmes du sol en Ontario. Si l'on considère que le budget consacré à l'acquisition de données à l'appui de la gestion des terres agricoles est de 100 000 à 150 000 $ par an, cela représenterait une économie annuelle de 1,1 à 2 millions de dollars par an en Ontario seulement. En extrapolant davantage ces chiffres, on obtiendrait **un rapport coûts-avantages total pour le Canada de 14 à 17 millions de dollars par an, soit une économie quinquennale moyenne de plus de 75 millions de dollars pour les agriculteurs canadiens**. Cet avantage est considéré comme

une valeur minimale moyenne actuelle et devrait augmenter à mesure que d'autres renseignements seront recueillis, y compris auprès des systèmes satellitaires à venir.

D'autres secteurs de retombées sont très variés et ne nécessitent souvent qu'une simple analyse ou la création d'une carte. Par exemple, en étant capable de mesurer la taille des champs ou des exploitations et des cultures aux fins d'assurance. Un processus de cartographie semblable aide l'agriculteur à planifier et à établir le prix des nouvelles clôtures ou à cerner les problèmes liés au drainage. D'autres initiatives environnementales peuvent également faire l'objet d'un suivi; par exemple, une ferme peut obtenir des crédits pour soutenir la plantation (ou l'abandon) de fleurs sauvages pour l'établissement de populations d'abeilles. AAC participe à des initiatives semblables, notamment avec les universités de Calgary et d'Ottawa pour soutenir les populations d'abeilles; l'expérience relative au pollinisateur paysager des prairies évalue l'influence de la proximité d'un certain nombre de caractéristiques du paysage, notamment le type de culture, sur les populations.

3.2.2.2 Permettre l'agriculture de précision grâce à la navigation par satellite

Les données sur le rendement des cultures recueillies à bord des moissonneuses-batteuses, lorsqu'elles sont combinées à la navigation par satellite, permettent de localiser les zones d'un champ qui affichent un rendement inférieur, normal ou supérieur. Ces renseignements alimentent les plans de gestion des terres afin de déterminer les zones où l'irrigation est insuffisante ou excessive ou les zones où l'on utilise trop ou pas assez d'engrais. Des entreprises comme Trimble offrent une planification prescriptive basée sur des données recueillies qui mettent en évidence les rendements élevés, les conditions du sol et les zones problématiques. Un agriculteur reçoit ensuite des instructions sur les zones à ensemencer ou à traiter et sur ce qu'il doit faire dans les zones à faible rendement.

La Direction de la gestion de l'environnement du **MAAARO estime qu'un montant de 10 à 25 dollars par acre est économisé en adaptant cette technologie grâce à une meilleure utilisation des semences, des engrais et de l'irrigation, selon le type de culture.** L'estimation est difficile à évaluer étant donné la nécessité de valider les impacts des changements liés à l'ensemencement ou aux quantités d'engrais, entre autres, mais elle est basée sur les données d'environ 25 études de cas. Il est à noter que ce résultat est également comparable au travail produit par Haak D.E[45]., dont il est question dans l'introduction du présent rapport et qui fait état d'économies de l'ordre de 8 à 22 dollars (dans cette étude, le soja se situait à l'extrémité inférieure de la fourchette, et le maïs, à l'extrémité supérieure, ce qui est semblable, une fois encore, aux études du MAAARO). Pour réaliser une économie totale, il faut recueillir le nombre estimatif d'exploitations agricoles par acres qui utilisent la technologie. Le MAAARO estime qu'en Ontario, environ 25 % des fermes utilisent des moissonneuses-batteuses dotées d'un GPS pour produire soit une carte de base simple, soit des approches plus prescriptives comme celles fournies par des entreprises comme Trimble. Toutefois, dans les provinces des Prairies, cette proportion devrait être beaucoup plus élevée – Farmers Edge estime que 50 % à 65 % des agriculteurs utilisent une solution agricole de précision. On estime que la taille des exploitations agricoles constitue l'un des facteurs contribuant à cette adhésion. Les impacts de l'agriculture de précision sont accrus par la taille de l'exploitation, les techniques à distance et la collecte systématique de données, qui permettent une collecte plus rapide de l'information que les mesures in situ. Farmers Edge estime que les solutions d'agriculture de précision sont les plus avantageuses lorsque les exploitations agricoles ont 1500 - 2 000 acres et plus. Par conséquent, lorsque les exploitations agricoles sont plus grandes, on s'attend à ce que l'adoption de ces solutions affiche un pourcentage plus

[45] « *Precision Agriculture Development in Canada* ». Haak D.E. (2011).

élevé. La taille moyenne des fermes en Saskatchewan (environ 1 800 acres), en Alberta et au Manitoba (environ 1 200 acres) est beaucoup plus élevée que dans les autres provinces[46] (environ 250 acres en Ontario).

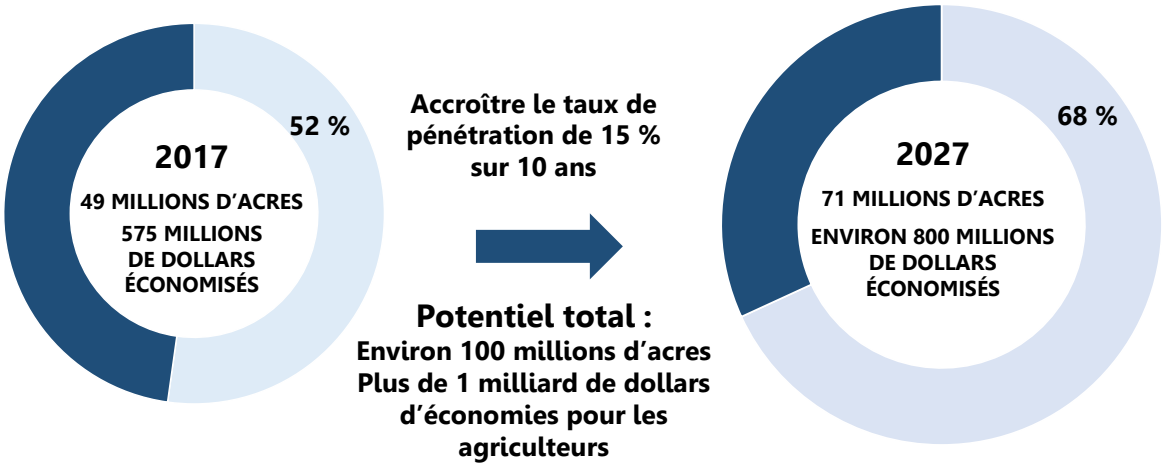
En utilisant ces données comme pondération, on peut estimer qu'environ 45 000 fermes agricoles au Canada utilisent des solutions d'agriculture de précision (40 % du total), ce qui représente un peu plus de 50 % du total des acres cultivées (environ 50 millions d'acres). Cette participation de 50 % entraîne un avantage d'environ 575 millions de dollars par an grâce aux économies de coûts permises par les meilleures pratiques agricoles.

Si toutes les exploitations agricoles adoptaient de telles pratiques, ce chiffre dépasserait 1 milliard de dollars par an. On s'attendrait à ce que ces économies augmentent au fur et à mesure que les fermes et entreprises agroalimentaires adoptent ces solutions. L'agriculture de précision est considérée comme un marché axé sur l'équipement, les solutions gagnent en précision, mais la rentabilité reste un problème pour convaincre tous les agronomes, en particulier les petites exploitations. Toutefois, si le taux d'adoption est de 75 % pour les régions agricoles dont la superficie moyenne est d'au moins 1 000 acres, avec une augmentation de 10 % dans les autres provinces (un objectif réalisable), alors la pénétration totale représente environ les deux tiers de la superficie cultivée. **Si cet objectif peut être atteint d'ici 2027, cela signifierait une économie de plus de 800 millions de dollars par an dans l'ensemble du Canada**.

[46]Source : Statistique Canada, Recensement de l'agriculture de 2016

AVANTAGES DE LA NAVIGATION PAR SATELLITE POUR LES AGRICULTEURS

AVANTAGES EN FONCTION DE L'ADAPTATION
AU MARCHÉ, 52 % SITUATION ACTUELLE et 68 % SCÉNARIOS DE PRÉVISION



3.2.2.3 Nouvelle solution d'imagerie au service de l'agriculture de précision

L'agriculture de précision est soutenue par d'autres technologies, telles que les mesures in situ, l'imagerie satellitaire ou les drones. Farmers Edge, par exemple, utilise l'imagerie satellitaire (provenant principalement de Planet) ainsi que plus de 4 000 stations météorologiques in situ placées directement sur les fermes pour recueillir des renseignements. L'imagerie satellitaire est utilisée pour recueillir les données sur l'IVDN afin de surveiller la production et la santé des cultures. L'entreprise fait remarquer que la taille des exploitations agricoles constitue encore une fois un facteur d'utilisation – plus la ferme est grande (plus de 2 000 acres), plus il est difficile de recueillir régulièrement des données in situ, et donc plus l'utilisation de la solution satellite est avantageuse. La solution de rechange, à savoir le dépistage en culture, exige que les personnes se rendent dans les champs. Ainsi, l'utilisation de l'imagerie permet des économies en matière d'heures-personne. Farmers Edge note que même si un agronome pouvait desservir environ 75 000 acres par an, ce chiffre est maintenant de 250 000 à 500 000 grâce à l'utilisation de l'imagerie satellite (en fonction de la culture). **Grâce aux économies combinées d'heures-personne et à l'amélioration de l'efficacité de l'agriculture (ciblage des zones à irriguer, économie d'engrais, etc.), Farmers Edge estime que l'utilisation de l'imagerie satellitaire combinée et des données des stations météorologiques in situ pourrait engendrer des économies de 25 à 50 dollars par acre (encore une fois selon la culture)**. Il est encore une fois difficile de déterminer combien d'exploitations agricoles adoptent de telles solutions; d'autres entreprises comme Monsanto Climate Corp. offrent également des services. Considérant que les solutions de Farmers Edge sont opérationnelles dans des fermes totalisant environ 6,25 millions d'acres au Canada, cela implique une économie de coûts de 150 à 300 millions de dollars par an. Il convient également d'indiquer que les 6,25 millions d'acres représentent moins de 7 % de l'ensemble des terres cultivées au Canada. Par conséquent, même en envisageant d'autres solutions concurrentielles, l'utilisation de l'imagerie satellitaire peut encore augmenter.

La possibilité de fournir de tels services est relativement récente; elle est rendue possible par la collecte de données à haute fréquence permise par la constellation Planet Dove. D'autres domaines d'application et de services devraient se développer. Par exemple, en utilisant l'IVDN, il est possible d'estimer avec un degré

de certitude élevé le rendement du maïs en fonction du moment où il a atteint une certaine maturité. Le fait de savoir prédire le rendement et la maturité aiderait également à soutenir la logistique agricole et la chaîne d'approvisionnement, ce qui entraînerait d'autres bénéfices. L'exportation de solutions apporte d'autres bénéfices, en sachant que Farmers Edge a acquis un savoir-faire au Canada, mais qu'il offre des solutions d'approvisionnement à l'échelle mondiale – seulement 25 % de ses activités se déroulent au Canada.

L'outil SCAN (pour Sol, Culture, Atmosphère et N- symbole de l'azote), fourni par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) est un autre outil mis à l'essai, dont il a été question dans la première section du présent rapport[47]. Il vise à optimiser la gestion de l'azote; une carence en azote mène à un rendement compromis, tandis qu'une surutilisation entraîne une augmentation des coûts et des répercussions environnementales potentielles supplémentaires. L'outil SCAN repose sur des techniques d'intelligence artificielle adaptées à la gestion des relations imprécises et complexes entre les cultures et l'azote, en fonction d'approches mathématiques. L'imagerie satellitaire acquise à un stade de croissance spécifique fournit l'un des types d'information requis pour le fonctionnement de l'outil SCAN, c'est-à-dire l'état des cultures. **Les résultats des tests ont montré, sur une période de trois ans (2013-2015), que l'outil SCAN a permis des gains moyens de 25 à 49 dollars par hectare**, selon l'année, ce qui est comparable aux résultats rapportés par Farmers Edge. L'outil SCAN est toujours en phase d'essai (principalement au Québec et coordonné par Effigis, une entreprise de services géospatiaux d'OT), mais l'exploitation devrait commencer sous peu. Les applications sont cependant fondées sur l'imagerie commerciale (étant donné les résolutions au sol requises pour les ensembles de données multispectrales, il est donc probable que des frais soient exigés [soit pour le gouvernement, soit pour l'agriculteur]).

Prévoir les avantages peut être un défi pour les services qui ne font que commencer. Toutefois, étant donné le taux de pénétration du marché de Farmers Edge d'environ 7 %, la croissance prévue grâce aux données de Planet et la mise en service d'autres services tels que SCAN, il n'est pas déraisonnable d'estimer à 25 % la superficie cultivée d'ici 2027 en utilisant des solutions intégrées d'imagerie. **Pour les agriculteurs, cela signifierait une économie de coûts de 650 millions à 1,3 milliard de dollars, selon le type de culture**.

3.2.2.4 Soutenir les pratiques agricoles

AAC utilise des images d'observation de la Terre pour produire plusieurs cartes qui visent à appuyer les pratiques agricoles à l'échelle nationale, mais comme ces données sont de source ouverte, il peut être difficile de trouver des statistiques sur la façon dont les Canadiens en tirent profit. L'information recueillie provient des utilisateurs qui s'adressent à AAC aux fins de discussion. Il est possible d'obtenir certains indicateurs relatifs à l'utilisation; l'inventaire annuel des récoltes d'AAC figure parmi les 25 principaux téléchargements sur le portail du gouvernement du Canada, et parmi les deux principaux téléchargements de produits géospatiaux. AAC a également fourni d'autres solutions de source ouverte, notamment des cartes sur l'état des cultures (à l'aide des données sur l'IVDN obtenues par MODIS) et des cartes sur l'humidité à la surface (au moyen de SMAP).

Parmi les cas signalés à AAC, les utilisateurs finaux des produits cartographiques agricoles provenaient des gouvernements fédéral et provinciaux, de groupes de producteurs spécialisés, d'agroentreprises, d'instituts de recherche et d'ONG. L'utilisation de l'information se divise en plusieurs catégories, notamment

---

[47] « *SCAN, un outil d'agriculture de précision pour optimiser la gestion de l'azote aux champs* ». AAC (2017). Consulté à l'adresse : http://www.agr.gc.ca/fra/nouvelles/realisations-scientifiques-en-agriculture/scan-un-outil-dagriculture-de-precision-pour-optimiser-la-gestion-de-lazote-aux-champs/?id=1496858857623

l'amélioration de l'élaboration des politiques, l'exécution des programmes et l'établissement de rapports, ce qui permet d'améliorer la prise de décisions, d'accroître la responsabilisation et de définir de nouveaux domaines de recherche. Le tableau ci-dessous résume plusieurs des cas d'avantages pour l'utilisateur final, les utilisateurs et la typologie des avantages apportés.

EXEMPLES D'ÉTUDES DE CAS SUR LES AVANTAGES TIRANT PROFIT DE CARTES LIBRES DE DROITS FOURNIES PAR AAC ET DE L'OBSERVATION DE LA TERRE PAR SATELLITE

UTILISATEUR FINAL	CAS D'AVANTAGES
Direction des enquêtes sur les marchés et l'industrie d'AAC	• L'information sur le rendement des cultures n'est disponible que par le biais des enquêtes de Statistique Canada menées à l'automne. Les prévisions du rendement des cultures au Canada (Canadian Crop Yield Forecast, CCYF) fournissent une prévision du rendement des cultures pour les principaux produits de base plus tôt dans la saison. Cette information sert à éclairer les rapports sur les marchés et à produire des prévisions économiques plus robustes pour le secteur agricole au Canada. Elle améliore également la sécurité alimentaire et la planification[48].
Environnement Canada, bureaux de préparation aux dangers	• Utilisation des ensembles de données satellitaires sur l'humidité de surface du sol pour déterminer les zones sujettes aux inondations ou aux feux de forêt afin de mieux cibler les efforts des prévisionnistes et des organismes provinciaux de lutte contre les incendies.
Statistique Canada, Division de l'agriculture	• Utilisation de l'inventaire annuel des cultures pour élaborer des méthodes d'estimation des superficies cultivées sans qu'il soit nécessaire de communiquer avec les agriculteurs à l'appui des données de l'assurance-récolte.
	• Utilisation des données et des techniques de modélisation élaborées dans le cadre de la CCYF pour produire le rapport annuel de septembre sur les grandes cultures. Le modèle CCYF a remplacé une enquête téléphonique traditionnelle en 2015, ce qui a permis de réaliser des économies et de réduire le fardeau de l'enquête pour les agriculteurs canadiens.
Gouvernement de l'Alberta, Agriculture et Développement rural	• L'inventaire annuel des cultures est utilisé pour produire des rapports sur la fragmentation et la conversion des terres agricoles pour des usages non agricoles. Il fournit des données sur la situation et les tendances de l'utilisation des terres agricoles afin d'aider le gouvernement albertain à prendre des décisions pertinentes en vue de trouver un équilibre entre une nécessaire expansion urbaine et les besoins de larges communautés agricoles.
Gouvernement du Manitoba, Centre de prévision des crues	• Les données satellitaires sur l'humidité du sol en surface sont recoupées avec les données des relevés provinciaux à des fins de comparaison et de création d'une base de données plus riche en renseignements que celle résultant uniquement des relevés. La collaboration a permis d'améliorer les modèles de prévision des inondations au Manitoba.
Institut international du Canada pour le grain	• L'Institut international du Canada pour le grain (IICG) est un organisme indépendant sans but lucratif qui travaille avec la chaîne de valeur des céréales et des grandes cultures au Canada pour favoriser le développement et l'utilisation des produits agricoles canadiens. L'IICG utilise les prévisions de la CCYF pour informer ses clients des perspectives du marché des cultures céréalières au Canada et à l'étranger.
Soutien aux agriculteurs (agroentreprise)	• Les données hebdomadaires du Programme d'évaluation de l'état des cultures et des anomalies de l'IVDN sont envoyées à plus de 6 500 agriculteurs sur une base hebdomadaire. Les agriculteurs les utilisent pour prendre de meilleures décisions de commercialisation. Cela fait maintenant partie intégrante du processus décisionnel de nombreux agriculteurs quant au moment de vendre leurs céréales, leurs oléagineux et leurs légumineuses.

Il serait possible de quantifier plusieurs des exemples présentés dans le rapport d'étude de cas d'AAC, en particulier ceux qui ont trait à l'agroentreprise ou qui permettent aux agriculteurs de réaliser des économies, mais AAC n'a pas le mandat de recueillir d'autres renseignements sur des cas individuels. L'un des domaines quantifiables est l'appui que les cartes agricoles par satellite ont apporté au développement commercial de la culture du canola au Canada, tel qu'il est décrit dans l'étude de cas ci-dessous.

[48] *« Evaluation of the Integrated Canadian Crop Yield Forecaster (ICCYF) model for in-season prediction of crop yield across the Canadian agricultural landscape »,* Chipanshi A., *et al.*, Agricultural and Forest Meteorology, volume 206, 2015

Le cas du canola

Soutenir le Conseil du canola par l'intermédiaire de la réglementation des cultures afin que le canola puisse être exporté vers l'Europe en qualité de biocarburant, ce qui se traduirait par des ventes à l'exportation de 100 à 200 millions de dollars par an vers l'Union européenne.

Le Conseil canadien du canola, à l'aide de l'Inventaire annuel des cultures d'AAC, a ouvert les marchés européens des matières premières pour biocombustibles pour le canola canadien. L'Inventaire annuel des cultures est l'une des nombreuses cartes agricoles fournies par AAC et disponibles sur le portail Web du gouvernement. Il est établi à partir d'images satellitaires fournies par des satellites canadiens et internationaux.

Une étude publiée en 2017 indiquait que le canola contribue à hauteur d'environ 26,7 milliards de dollars à l'économie canadienne et crée de plus de 250 000 emplois et verse quelque 11,2 milliards de dollars en salaire aux Canadiennes et aux Canadiens. Le canola est la culture la plus précieuse du Canada, 90 % de celle-ci étant exportée à l'étranger (en majorité vers les États-Unis). Chaque année, l'inventaire annuel des cultures est utilisé par les vérificateurs de la durabilité internationale et de la certification du carbone afin de s'assurer que les producteurs canadiens de canola se conforment aux critères de durabilité à la ferme établis dans la Directive sur les sources d'énergie renouvelables de l'Union européenne (DSEAR). La carte est utilisée comme fonction de présélection par rapport à la question du défrichement et de la conversion des terres agricoles (en particulier la conversion des forêts et des fruticées en terres de cultures annuelles ou vivaces) de la DSER. En prouvant la conformité, le marché européen du canola est ouvert aux agriculteurs canadiens, avec une valeur annuelle de 100 millions à 200 millions de dollars par an. **La capacité de cartographie est en place depuis 2012, ce qui représente un avantage total d'environ 750 millions de dollars sur cinq ans pour les agriculteurs canadiens et l'économie en général.**

En plus de la valeur à l'exportation, d'autres économies peuvent être réalisées en surveillant chaque ferme productrice de canola pour s'assurer qu'elle se conforme aux règlements d'exportation de l'Union européenne. Selon les mécanismes utilisés et la taille de l'exploitation, une telle enquête peut coûter entre 10 000 et 100 000 dollars à réaliser – et elle est requise chaque année. Comme il y a 43 000 décideurs dans l'industrie du canola, cela signifierait (à un point médian) des **économies de près de 2,5 millions de dollars par an pour l'industrie du canola** grâce aux enquêtes réalisées à l'aide d'images satellites fournies par AAC.

3.2.2.5 Appui à la politique nationale et à la réglementation agricole

En plus de produire des cartes pour des tiers, le gouvernement fédéral surveille l'activité agricole à l'échelle nationale afin d'appuyer les politiques sur les pratiques exemplaires et de surveiller les changements dans l'activité agricole d'une année à l'autre. Par exemple, il est nécessaire de planter et de faire la rotation de

trois cultures différentes afin de maintenir les éléments nutritifs du sol. Il peut y avoir un biais en faveur de certaines cultures avec des rendements à court terme plus élevés, et il est possible qu'un accent soit mis sur deux cultures seulement – cependant, cela peut conduire à la dégradation et à l'érosion des sols à long terme. Les exploitations agricoles qui plantent moins que le nombre souhaité de cultures peuvent ainsi être signalées et des notifications peuvent leur être envoyées. De même, les fermes peuvent être surveillées pour savoir qui épand du fumier en hiver; si le temps est doux, la neige de surface fondra et le fumier sera drainé dans les réseaux hydriques.

De telles activités peuvent également avoir des répercussions plus importantes sur l'environnement. Par exemple, le MAAARO surveille les impacts du ruissellement de surface découlant des procédés agricoles sur l'écologie du lac Érié, en particulier l'accumulation de matières organiques dans le lac, l'augmentation des émissions de CO_2 et l'impact que cela a sur les écosystèmes locaux et la qualité de l'eau. AAC a également un rôle à jouer dans le soutien des pratiques de gestion durable des terres, en appuyant par exemple l'entretien des forêts et des milieux humides et en déterminant les endroits où elles ont pu être transformées en terres agricoles. Pour ce faire, on surveille l'utilisation des terres au moyen d'images satellites à jour et on signale les zones jugées à risque.

3.2.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA

3.2.3.1 Solutions satellitaires

L'utilisation de solutions satellitaires dépend largement de l'échelle de la cartographie agricole requise. AAC, dont le mandat consiste à fournir des cartes nationales, s'appuie sur des capteurs optiques d'images de fauchée à plus grande portée comme MODIS et les séries Landsat. Pour passer à un niveau plus localisé, où la surveillance des champs individuels et de la taille des champs est nécessaire, des systèmes à plus haute résolution sont requis – bien que l'utilisation de systèmes satellites commerciaux offrant des ensembles de données à plus haute résolution soit limitée par des contraintes budgétaires. Au niveau provincial, les principales solutions satellitaires du MAAARO sont les données des séries Landsat et Sentinel, qui sont toutes deux disponibles gratuitement. Les données sont utilisées pour surveiller les zones de couverture des cultures au niveau des classifications générales. Par exemple, une surveillance est effectuée sur une base saisonnière pour savoir quels champs sont recouverts de cultures et qui peuvent donc être sensibles à l'érosion.

Un domaine important d'amélioration consisterait à mieux soutenir la collecte de données à des moments clés et à intervalles réguliers. Par exemple, pour pouvoir effectuer un suivi au début de la saison de croissance, de la fin mars à la mi-avril, et directement après la récolte. À l'heure actuelle, la couverture nuageuse au Canada et l'intervalle de réobservation de 16 jours de Landsat rendent cela irréalisable. C'est pourquoi on y parvient grâce à la collecte de données aériennes ou à des rapports in situ. À cet égard, des discussions sont en cours avec des entreprises telles que Planet sur la manière dont son système peut être développé, bien que cela soit pris en compte dans la phase initiale.

Au niveau fédéral, AAC est disposé à utiliser d'autres sources de données, mais le ministère est confronté à des défis en matière d'infrastructure. Une quantité accrue de données est disponible, mais AAC ne dispose pas de l'espace suffisant pour en stocker de grandes quantités. Par exemple, à ce jour, AAC n'intègre pas les données Sentinel dans ses modèles car il n'a pas la capacité de stockage et de traitement nécessaire. Le ministère s'appuie donc principalement sur les données Landsat et RADARSAT-2. Il s'agit davantage d'une question de matériel et de logiciels, car Services partagés Canada dispose de mises à jour logicielles, bien que celles-ci soient plus génériques et ne soient pas adaptées aux besoins particuliers du traitement de l'imagerie géospatiale.

L'utilisation de l'imagerie satellitaire en agriculture de précision est plus limitée. Toutefois, cela pourrait changer, car des entreprises privées, comme Planet, ciblent le secteur. Il est à noter que Planet travaille directement avec les fournisseurs de services agricoles afin de trouver des solutions. Farmers Edge note qu'avant Planet, pour lequel elle détient une licence exclusive au Canada, elle utilisait des sources accessibles gratuitement telles que Landsat et Sentinel-2. Cependant, Planet permet une réévaluation très fréquente (jusqu'à 2 à 3 fois par jour) qui est nécessaire pour alimenter ses modèles et fournir régulièrement des données aux agriculteurs. Pendant une saison de croissance de 90 jours, par exemple, Landsat ne survolera ses cibles que quelques fois seulement et, en raison de la couverture nuageuse, seulement 3 ou 4 images seront utiles. La collecte de données plusieurs fois par jour par Planet autorise des mises à jour régulières et améliore considérablement les chances d'obtenir des données exemptes de nuages.

3.2.3.2 Solutions de rechange

Là où une surveillance plus localisée est nécessaire, les solutions aériennes et par UAV offrent une autre solution viable. Le MAAARO, par exemple, vise à mettre à jour ses cartes d'orthoimagerie de terrain tous les cinq ans à l'aide de données aériennes. Le ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Alberta utilise également des orthoimages aériennes; le fait de pouvoir créer des images stéréoscopiques pour mieux cartographier l'hydrologie est un aspect important (la stéréoscopie par satellite étant coûteuse). D'autres avantages découlant des solutions aériennes proviennent de la cartographie localisée visant à appuyer les changements de hauteur, mesurés avec la technologie LiDAR, ou lorsqu'une capacité spectrale plus élevée est nécessaire, pour mesurer, par exemple, les changements biophysiques des cultures, auquel cas les données hyperspectrales aériennes sont utilisées. La technologie LiDAR est également utilisée pour cartographier les régimes de drainage probables, notamment en combinaison avec les données satellites pour mieux cartographier les zones potentielles d'érosion du sol.

Cependant, les drones ne sont pas utilisés à grande échelle à cette fin. Les exigences réglementaires permettant de piloter des drones constituent un facteur clé, même si les dépenses opérationnelles peuvent également augmenter. L'utilisation est plus attendue dans les cultures à rendement plus élevé comme le canola et les pois, entre autres. On ne s'attend pas non plus à ce que les agriculteurs se procurent directement des drones en grand nombre; il est plus probable qu'ils travaillent avec une société de services.

Compte tenu que les LiDAR spatioportés sont limités à quelques missions scientifiques (comme le satellite ICESat de la NASA), et qu'il n'est pas tout à fait opérationnel en orbite, il est peu probable que les satellites constitueront une solution de rechange à court et à moyen termes. De même, la détection hyperspectrale est encore loin d'être pleinement opérationnelle à partir d'un satellite, mais la mission EnMap dirigée par l'Allemagne est envisagée en qualité de mission potentielle future (elle devrait être lancée en 2020), même si le satellite n'a pas de capacité de collecte dans le spectre de l'infrarouge à courte longueur d'onde pour soutenir la collecte sur les propriétés biophysiques. Les capacités hyperspectrales dans le proche infrarouge permettraient toutefois de mieux comprendre la classification des cultures.

3.2.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future

Les budgets et la propriété des données sont deux domaines clés déterminés comme étant des obstacles à une utilisation plus poussée. Dans le cas de l'imagerie, les budgets consacrés à l'achat de données sont limités et reposent principalement sur des ensembles de données gratuits. Compte tenu de ce qui précède, le budget du MAAARO pour l'imagerie satellitaire est de l'ordre de 100 000 à 150 000 dollars par an. En prenant cela comme point de départ, cela signifierait un budget total de 1 à 1,5 million de dollars à l'échelle du gouvernement provincial pour acquérir des solutions commerciales d'observation de la Terre. Cela

suppose une pondération du budget en fonction des terres cultivées dans l'ensemble des provinces. Il est important d'établir le bien-fondé de ce que l'imagerie satellitaire peut faire pour démontrer la rentabilité.

Un autre facteur consiste à savoir à qui appartiennent les données recueillies par l'agriculture de précision. Pour la collecte de données par les moissonneuses-batteuses dotées d'un GPS, le capteur de rendement est fourni par le fournisseur d'équipement (p. ex., John Deere). Ce dernier est intégré dans une société de services pour la génération de données (comme Trimble ou Monsanto), puis certains renseignements sont fournis à l'utilisateur final (le producteur ou l'agroentreprise). Toutefois, la propriété des données peut être revendiquée par les trois parties, et les données peuvent être regroupées et utilisées davantage – par exemple pour surveiller le rendement de plusieurs exploitations et de vastes superficies. Une telle collecte de données pourrait, par exemple, être utilisée pour mieux prévoir les prix des produits de base et il existe des sensibilités évidentes à cet égard.

GESTION DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

3.3 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DE LA GESTION DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

En 2016, l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a estimé que le nombre total de passagers transportés au cours de l'année s'établissait à 3,7 milliards[49]; ce chiffre passera à 7,8 milliards en 2036[50].

Deux grandes institutions internationales supervisent le secteur de l'aviation, fournissant ainsi un cadre dans lequel des réglementations strictes sont établies afin de maintenir une gestion optimale de la circulation aérienne. Il va sans dire que de telles augmentations d'activité peuvent générer de nombreux risques, notamment pour la sécurité des passagers, si elles ne sont pas gérées de manière rigoureuse. L'OACI, institution spécialisée des Nations Unies codifiant les principes de réglementation du transport aérien et de la navigation aérienne internationale, et l'IATA, l'organisation mondiale des conglomérats aériens, sont les deux principaux organes directeurs de la gestion de la circulation aérienne.

L'utilisation de l'espace sert étroitement les trois principes fondamentaux du contrôle de la circulation aérienne : communication, navigation et surveillance. Son utilisation principale vise à fournir des données de navigation par satellite par l'intermédiaire des systèmes GPS ou GNSS à orbite terrestre moyenne, à fournir aux avions des données de géolocalisation précises, ce qui permet aux pilotes de déterminer des itinéraires de voyage sûrs et efficaces. En outre, l'utilisation de transpondeurs de communication du système ADS-B (surveillance dépendante automatique en mode diffusion) retransmet l'information au sol, ce qui permet aux centres de contrôle de la circulation aérienne en route (ARTCC) et aux aéroports du monde entier d'assurer une surveillance efficace de la planification du trafic et facilite le suivi des ressources au sol et en vol. Les réseaux de communication par satellite créent des connexions pour la transmission de données entre les multiples parties concernées. Ils sont également utilisés pour établir le contact avec des aéronefs survolant des régions du globe difficiles à survoler, comme les océans.

3.3.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION

3.3.1.1 Communications par satellite

De par sa nature même, la technologie ADS-B est fortement liée à la navigation par satellite, et les avantages qui en découlent sont abordés dans la section portant sur la navigation. Le passage actuel se concentrera sur les avantages supplémentaires apportés par les systèmes de communication par satellite à la gestion de la circulation aérienne, liés ou non au système ADS-B. La technologie des transpondeurs ADS-B fonctionne grâce à des émetteurs et à des récepteurs installés à bord des avions. Elle retransmet des renseignements en temps réel sur la position et la vitesse des avions émetteurs. Les transmissions sont acheminées en utilisant la bande de fréquences 1090 MHz réglementée par l'UIT. Du moment que les deux parties disposent d'installations ADS-B compatibles, les communications peuvent être permises entre : deux aéronefs en exploitation, un avion et un aéroport, une station ARTCC, ou un récepteur terrestre ADS-B

[49] « Air transport, passengers carried ». Organisation de l'aviation civile internationale (2018). Consulté à l'adresse : https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR

[50] « 2036 Forecast Reveals Air Passengers Will Nearly Double to 7.8 Billion ». IATA (2017). Consulté à l'adresse : http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-10-24-01.aspx

éloigné. Le système de distribution de données ADS-B s'appuie sur les satellites GPS/GNSS comme source principale d'information, l'information géolocalisée étant traitée par les instruments internes du transporteur avant d'être diffusée par le processus de communication de pointe qui vient d'être mis au point[51].

Malgré la facilité de déploiement de la technologie ADS-B, on estime que certaines régions du monde sont trop difficiles d'accès ou ne permettent pas l'installation d'équipement au sol adéquat pour soutenir les moyens de communication qui viennent d'être décrits. C'est le cas pour les régions maritimes, ainsi que pour les régions terrestres éloignées. L'utilisation de moyens de communication par satellite comme relais pour transmettre l'information de vol au sol s'impose comme une stratégie logique pour atténuer les complications imposées par les régions éloignées. Les systèmes satellitaires équipés de transpondeurs ADS-B font leur entrée sur le marché. Par exemple, Aireon met en œuvre cette technologie dans les charges utiles de la constellation Iridium NEXT, offrant ainsi une couverture mondiale et des performances semblables à celles de l'ADS-B terrestre en termes de latence et de taux de rafraîchissement des données. Cette solution sera pleinement opérationnelle lorsque les satellites Iridium NEXT restants auront été mis en orbite au milieu de l'année 2018[52]. Compte tenu du nombre croissant d'aéronefs qui sillonneront le ciel de la Terre au cours des deux prochaines décennies, il se pourrait que de nouvelles grandes constellations de satellites installées en orbite LEO, comme celle mise au point par Télésat et qui assurent une couverture mondiale, fassent leur entrée dans l'industrie de la gestion de la circulation aérienne.

D'autre part, des programmes gouvernementaux tels que le Single European Skies ATM Research (SESAR) sont actuellement à la recherche d'approches novatrices pour améliorer leur système de gestion de l'aviation. Dans ce cas européen, les communications par satellite ont été retenues dans le cadre d'un partenariat avec Inmarsat, Thales Alenia Space et l'Agence spatiale européenne, en tant que solution pour distribuer les transmissions sécurisées et à haute capacité du poste de pilotage. Cette solution permettra également d'atteindre les objectifs à long terme de SESAR, qui sont d'optimiser l'espace aérien européen en réduisant les émissions dues à la circulation aérienne, d'améliorer la trajectoire des vols et de réduire le temps passé dans les airs et les retards[53].

3.3.1.2 Imagerie (observation de la Terre)

Bien qu'il s'agisse principalement d'une application satellite pour la navigation par satellite, le rôle de la météorologie ne peut être ignoré. Les données météorologiques servent à prédire les meilleurs itinéraires de vol et à mettre en évidence les zones qui pourraient être caractérisées par des conditions météorologiques violentes ou des turbulences accrues. Les données utilisées sont d'abord des données météorologiques produites par des satellites installés en orbites GEO et LEO et appartenant à des opérateurs tels que la NOAA et EUMETSAT. Ces agences fournissent également des services gratuits pour appuyer les compagnies aériennes. Les compagnies météorologiques privées peuvent également accroître cette source de données afin de fournir des services plus personnalisés et continus aux compagnies aériennes. Cependant, toutes les données météorologiques ne sont pas homogènes. Alors qu'un approvisionnement continu en données peut être fourni à partir des orbites GEO, on constate une dégradation en périphérie qui devient problématique au-dessus de 50 degrés de latitude. À ce stade, les

---

[51] « New Air Traffic Surveillance Technology ». Richards W.R. (2010). Consulté à l'adresse : http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_02_10/2/

[52] « *Iridium Next* ». Aireon (2018). Consulté à l'adresse : https://aireon.com/resources/iridium-next/

[53] « *Inmarsat to Help Alleviate Airspace Congestion in Europe* ». Russell K. (2018). http://www.satellitetoday.com/mobility/2018/03/08/inmarsat-to-help-alleviate-airspace-congestion-in-europe/

satellites en orbite LEO sont mobilisés, mais ces derniers survolent leurs cibles plusieurs fois par jour plutôt que de fournir un flux de données continu. La prise de mesures météorologiques améliorées aux latitudes plus élevées contribuerait à ouvrir davantage les voies aériennes polaires.

Une autre application est la surveillance des nuages de cendres. Là encore, les données météorologiques constituent la première solution utilisée. L'incidence des nuages de cendres sur les déplacements aériens est devenue de notoriété publique à la suite de l'incident volcanique survenu en Islande en 2010. Au total, on signale qu'en moyenne 25 jours par an sont touchés par les nuages de cendres au-dessus du territoire canadien et de l'espace aérien contrôlé[54]. L'immobilisation au sol des avions qui en résulte a un coût pour les compagnies aériennes et les entreprises qui dépendent du fret aérien. Les données météorologiques permettent une meilleure planification des itinéraires pour éviter ces coûts. Le Canada abrite également l'un des neuf centres d'avis de cendres volcaniques, lequel surveille le territoire canadien, l'ouest de l'Atlantique et les régions polaires.

3.3.1.3 Navigation par satellite

Les constellations GPS ou GNSS fournissent les données de base utilisées par les avions pour calculer leur position et d'autres renseignements pertinents au vol. Une fois traités, ces renseignements doivent être transmis aux stations au sol et aux centres de contrôle aérien afin qu'ils puissent effectuer un suivi efficace de chaque véhicule. Ces échanges de données sont d'une importance primordiale, car les normes de la réglementation en matière de sécurité aérienne sont strictes, comme l'illustre le « Manuel sur la méthode de planification de l'espace aérien pour l'établissement de minimums de séparation » de l'OACI qui fournit les directives mathématiques afin d'établir les trajectoires des aéronefs et les règlements de sécurité de la circulation. Les facteurs de risque, c'est-à-dire les accidents mortels par heure de vol, sont traditionnellement fixés par l'OACI à un maximum de 10^{-8} à 10^{-9} pour toutes les équations de distance d'espacement et de sécurité des aéronefs[55].

Le système ADS-B est maintenant mis en œuvre et vise à remplacer le système traditionnel de surveillance par radar aux fins d'identification et de suivi des aéronefs. Les constructeurs aéronautiques Boeing et Airbus mettent en œuvre les transpondeurs « ADS-B IN » et « ADS-B OUT » afin de permettre la diffusion et la transmission des données essentielles de suivi de vol, à savoir la position, la direction du vol, l'altitude, la vitesse en vol, les données en montée et en descente, etc. En couplant un transpondeur ES Mode S de 1090 MHz et des systèmes GPS à bord d'avions, cette technologie transmettra à chaque seconde des données de suivi de vol cruciales aux installations au sol ou aux avions à proximité, leur permettant ainsi de déterminer et de suivre chaque trajectoire d'avion avec une précision nettement supérieure à celles des systèmes radar classiques[56]. Les institutions américaines et européennes de contrôle de la navigation aérienne (FAA et EUROCONTROL), demandent à tous les avions commerciaux de se conformer à la

---

[54]Tel qu'il est mentionné pour la première fois dans l'« Étude des avantages socioéconomiques liés à l'amélioration des communications et des services météorologiques dans l'Arctique et dans le Nord fournis par la mission de télécommunications et de météorologie polaire » (Study of The Socio-Economic Benefits Related to Improved Communications and Weather Services in the Arctic/North Delivered by The Polar Communications And Weather), Euroconsult pour le compte de l'ASC, 2012

[55] « *Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima* ». OACI (2002). Consulté à l'adresse : https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/9689_cons_en.pdf

[56] « *What do you get by extending your squit?* ». Garmin (2018). Consulté : https://www.garmin.com/us/intheair/ads-b/squit/

réglementation « ADS-B Out » établie par ces organismes d'ici 2020[57]. L'Australie a également décidé d'aller de l'avant avec le système ADS-B afin d'éviter les coûts associés au déploiement et à l'entretien des infrastructures radar classiques pour établir la couverture de son espace aérien occidental[58].

Jusqu'à présent, l'une des principales contraintes pour la navigation aérienne a été l'espacement minimal entre les aéronefs, qui est très étroitement lié aux performances techniques du système de suivi et de surveillance des véhicules aériens. Par exemple, la région nord-atlantique, l'une des zones de circulation aérienne les plus achalandées de la planète avec 43 % de la circulation aérienne océanique mondiale, présente un espacement minimal de 30 à 50 milles marins (longitude) entre deux aéronefs en raison de l'indisponibilité des moyens de suivi classiques sur l'océan et de la transmission radar à latence élevée qui atteint les continents. En conséquence, les trajectoires de vol doivent être adaptées en conséquence et ces zones de forte densité d'aéronefs peuvent devenir des goulots d'étranglement pour le transport aérien[59].

Le système ADS-B présente l'avantage de diminuer les normes d'espacement des aéronefs, ce qui permet à un plus grand nombre d'avions de partager simultanément le même espace aérien. Cela pourrait entraîner une augmentation potentielle du nombre de vols, puisque les centres de contrôle de la circulation aérienne seront en mesure de suivre plus précisément chaque avion. Les avions peuvent alors voler plus près les uns des autres et les trajectoires de vol sont optimisées. Cela accroît les avantages des vols au-dessus des océans et des régions éloignées, qui sont aujourd'hui plus restrictifs. Le fait d'emprunter des itinéraires plus directs et d'avoir des montées et des descentes ininterrompues peut entraîner une diminution des émissions du moteur, des économies de carburant et une réduction du bruit; cela permettrait également aux compagnies aériennes de réduire leur coût par passager, ce qui pourrait faire baisser le prix des billets pour l'utilisateur final.

3.3.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LA GESTION DE LA CIRCULATION AÉRIENNE AU CANADA

Dans la section ci-dessous, des exemples spécifiques sont présentés pour illustrer comment l'espace est exploité au profit de la gestion de la circulation aérienne. Les indicateurs ont été choisis à la suite d'une série de collectes de données auprès de différents intervenants de l'industrie du contrôle de la circulation aérienne, ainsi que de renseignements tirés d'études de cas réalisées par NavCanada et l'Organisation de l'aviation civile internationale [OACI]. Les avantages envisagés ont été mesurés au moyen d'études sur les espaces aériens administrés par le Canada afin de mieux comprendre le rendement intérieur découlant de l'utilisation des biens spatiaux, comme les zones océaniques de Gander et des territoires du Nord. Les avantages quantitatifs fournissent une estimation approximative de la valeur ajoutée des biens spatiaux pour le Canada.

---

[57] « *As ADS-B Out Deadline Looms, Will Airlines Be Ready?* ». MRO Network (2014). Consulté à l'adresse : http://www.mro-network.com/maintenance-repair-overhaul/ads-b-out-deadline-looms-will-airlines-be-ready

[58] « *New Air Traffic Surveillance Technology* ». Richards W.R. (2010). Consulté à l'adresse : http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_02_10/2/

[59] « *Les yeux rivés sur le ciel* ». NAVCanada (2013). Consulté à l'adresse : https://www.navcanada.ca/FR/media/Publications/Annual%20Report%202013-FR.pdf

RÉSUMÉ DES AVANTAGES SÉLECTIFS DÉTERMINÉS

TYPE	AVANTAGE	
QUANTITATIF	PERMETTRE LES DÉPLACEMENTS AÉRIENS	• Les systèmes GPS par satellite ont une incidence positive sur le PIB d'au moins 25 millions de dollars; ils agissent comme un catalyseur clé de l'industrie de l'aviation commerciale, dont les recettes s'élèvent à 80 milliards de dollars et qui a assuré les déplacements de 91 millions de passagers et le transport de 1,15 milliard de tonnes de marchandises en 2017 au Canada.
	RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO_2 PAR VOL	• Réduction cumulée de 27,6 millions de tonnes d'émissions d'équivalent en CO_2 dans l'ensemble de l'espace aérien sous contrôle canadien d'ici 2027 grâce à la mise en œuvre de l'ADS-B, ce qui se traduira par des itinéraires aériens plus efficaces.
	AUGMENTATION DU TRAFIC AÉRIEN AU-DESSUS DU CANADA	• La croissance prévue du trafic aérien rendue possible par l'ADS-B permettra une augmentation des recettes provenant des droits établis par NavCanada, ce qui entraînera des paiements de taxes estimés à 19 millions de dollars en 2027.
	AMÉLIORATION DE LA SÉCURITÉ DES PASSAGERS	• Une mise en œuvre complète d'un système ADS-B spatioporté dans l'industrie du transport aérien d'ici 2020 permettrait d'améliorer de 76 % la conformité avec les normes officielles du niveau cible de sécurité en matière de collision mortelle par heure de vol.
	AMÉLIORATION DE LA RENTABILITÉ DES COMPAGNIES AÉRIENNES	• Au-dessus de l'espace aérien de Gander, l'ADS-B spatioporté permettrait d'économiser 450 litres de carburant par vol, ce qui autoriserait des économies de carburant estimées à 900 millions de dollars par les compagnies aériennes qui traversent cet espace aérien océanique d'ici 2027.
QUALITATIF	RÉDUCTION DU TEMPS DE DÉPLACEMENT POUR LES COMPAGNIES AÉRIENNES	• En empruntant des itinéraires plus efficaces grâce à la technologie ADS-B, on économiserait en moyenne 3 minutes par voyage, soit un total de 5 000 heures de vol par jour au Canada.

3.3.2.1 Réduction des émissions de CO_2 par vol

Le transport aérien est responsable de 2 % des émissions mondiales de CO_2 d'origine humaine par an. Selon l'IATA, les avions qui sillonnent le ciel de la planète rejettent 859 millions de tonnes de CO_2 dans l'atmosphère, un avion consommant en moyenne 4 litres de kérosène par seconde. Compte tenu de l'évolution prévue de la circulation aérienne jusqu'en 2036, ces émissions continueront d'augmenter et pourraient dépasser celles des autres moyens de transport. Sur le plan historique, l'industrie du transport aérien n'a jamais fait l'objet de sanctions ou d'un système de compensation visant à modifier les amendes pour contribution à la pollution mondiale. Cette situation est en train de changer, car l'OACI a adopté en 2017 le Programme de compensation et de réduction des émissions de carbone pour l'aviation internationale (CORSIA) et d'autres systèmes obligatoires ou incitatifs de réduction des émissions de CO_2, encourageant ainsi des efforts à long terme jusqu'en 2050.

Réduire la pollution de l'air par les avions

Il en résulte également des économies de coûts pour les compagnies aériennes qui consomment moins de carburant.

L'amélioration de la surveillance des aéronefs à partir des institutions de contrôle au sol permise par la technologie ADS-B offre une plus grande liberté de choisir des niveaux d'altitude plus efficaces; la consommation de carburant pendant les vols est donc moins importante. Des études menées par Aireon et NavCanada prévoient une réduction d'environ **320 000 tonnes d'équivalents CO_2 dans l'espace aérien océanique de Gander-Shanwick et ce, uniquement en 2018. Cela entraînera une réduction cumulative estimée à 27,6 millions de tonnes d'émissions d'équivalent CO_2 dans l'ensemble de l'espace aérien sous contrôle canadien d'ici 2027.**

Le cas de l'espace aérien océanique de Gander pourrait être étendu à des régions canadiennes semblables, en termes de taille et de difficultés de surveillance, comme les territoires du Nord, où les moyens classiques de surveillance terrestre ne permettent pas une surveillance aérienne précise.

Au niveau mondial, cette tendance soutient également les compagnies aériennes, lesquelles peuvent économiser jusqu'à 225 dollars pour chaque tonne de dioxyde de carbone qu'elles peuvent réduire de leurs activités normales, et leur permet de se conformer aux nouvelles normes internationales de réduction du transport aérien établies par l'OACI. **Cette économie de 225 dollars par tonne de CO_2 se traduit par une économie cumulée estimée de 930 millions de dollars pour les trois principales compagnies aériennes canadiennes, soit Air Canada, WestJet et Porter, d'ici 2027, dans leurs activités quotidiennes.**

3.3.2.2 Augmentation du trafic aérien au-dessus du Canada

Le nombre total de passagers aériens dans le monde devrait doubler d'ici la fin de 2036. On s'attend à ce que les itinéraires aériens canadiens suivent cette tendance. Selon les constructeurs d'avions privés (comme Airbus) ou les institutions publiques (comme l'OACI), les revenus par passager-kilomètre en Amérique du Nord suivront la croissance moyenne mondiale de 4,5 %. Le Canada, qui gère le troisième plus grand espace aérien du monde, a beaucoup à gagner de l'augmentation de la circulation aérienne permise par la réduction de l'espacement des aéronefs grâce à l'ADS-B spatioporté. Un plus grand nombre d'itinéraires sera créé, ce qui se traduira par un plus grand nombre d'avions volant dans le même espace aérien et par une augmentation des droits qui peuvent être perçus. La réduction de l'espacement entre les aéronefs entraîne une augmentation du nombre d'avions survolant le Canada, ce qui génère une augmentation des droits de service perçus par NavCanada dans les aéroports, en route et en vol. NavCanada établit trois types particuliers de droits concernant la circulation aérienne au-dessus du Canada : les droits d'aéroport/de terminal, les droits en route et les droits de service. Le premier concerne le paiement des services de navigation fournis à un aéronef au sol; le second est appliqué chaque fois qu'un avion traverse un espace aérien donné et les calculs peuvent varier selon la nature de la zone considérée (océanique ou au-dessus du sol); et le troisième correspond à des droits spécifiques s'appliquant au transit dans la zone océanique de Gander.

Ces droits ont une incidence sur les résultats financiers de NavCanada. Dans ses résultats financiers, cet organisme a fait état de revenus avoisinant les 1,3 milliard de dollars à la fin de l'exercice financier, en août

2017. En qualité d'organisme sans but lucratif, NavCanada réinvestit ses profits dans le renouvellement de l'infrastructure, les redistribue à ses clients ou réduit ses tarifs pour l'année suivante. **Les revenus se traduisent également par le paiement de taxes au Canada, avec des montants de 14 millions de dollars dus en 2017 et de 55 millions de dollars de taxes reportés à payer au gouvernement. Si l'on applique la croissance prévue dans l'industrie, cela signifierait des paiements de taxes estimés à 19 millions de dollars en 2027**.

Les revenus générés par NavCanada permettent d'améliorer constamment les systèmes de suivi et l'équipement au sol afin d'offrir un service optimal aux compagnies aériennes, tout en profitant au pays grâce au paiement de taxes.

3.3.2.3 Permettre aux compagnies aériennes d'offrir des itinéraires plus efficaces.

L'ouverture de nouveaux corridors aériens au-dessus des territoires du Nord entraîne une augmentation directe des profits pour le Canada grâce aux droits de circulation aérienne. Selon NavCanada, le nombre de vols empruntant des corridors polaires au Canada a augmenté, passant de 1 000 en 2003 à 16 000 en 2016. Cette tendance s'applique aussi bien aux vols intérieurs qu'aux vols internationaux qui transitent au-dessus du pays. Tous les vols en transit paient des droits obligatoires en route, tel qu'il est indiqué dans la section précédente. **Dans l'ensemble, la mise en service de nouveaux corridors aériens polaires, appuyés par la technologie ADS-B par satellite fournissant des mises à jour continues de la position entre les aéronefs et le centre de contrôle au sol, engendrera le paiement au gouvernement, par NavCanada, de taxes cumulatives d'environ 400 000 dollars en 2027.**

Cette situation est corroborée par les prévisions de l'OACI, qui indiquent que les destinations de l'Asie du Sud-Est et de l'Ouest, en provenance ou à destination de l'Amérique du Nord, sont parmi celles qui connaissent la croissance la plus rapide en termes de nombre de passagers. L'utilisation de la technologie ADS-B basée dans l'espace constituera un important catalyseur pour ouvrir de nouvelles routes au-dessus de la région polaire du Canada, comme en témoigne le cas de l'ouverture de l'espace aérien de la baie d'Hudson, où la première utilisation canadienne de l'ADS-B a eu lieu en 2010, ce qui a permis de couvrir une superficie d'environ 850 000 km^2 qui ne l'était pas avant. Les exigences d'espacement des aéronefs dans cette zone ont été réduites de 80 à 5 milles marins.

3.3.2.4 Amélioration de la sécurité des passagers

La sécurité des passagers est évidemment primordiale sur tous les vols des compagnies aériennes. Le Manuel sur la méthode de planification de l'espace aérien pour l'établissement de minimums de séparation définit expressément l'espacement comme étant la mesure prise par les institutions de contrôle de la circulation aérienne afin de maintenir les avions en exploitation à des distances suffisamment grandes pour éviter le risque de collision au-dessous d'un niveau prédéterminé. La méthode utilisée pour déterminer ces normes d'espacement vertical et longitudinal en fonction du temps ou de la distance tient compte d'un facteur de collision appelé « niveau cible de sécurité ». Ce paramètre, central dans les équations de calcul de l'espacement minimal, est établi proportionnellement à la qualité de l'information à laquelle ont accès les institutions de contrôle de la circulation aérienne et les pilotes, compte tenu des exigences technologiques minimales prévues par les normes internationales.

Après avoir recueilli des données avec Aireon, la compagnie affirme que les longs temps de communication limités dans des régions éloignées, comme les espaces aériens océaniques, sont problématiques, que les aéronefs peuvent voler à la mauvaise altitude ou trop près d'un autre aéronef, et que les instructions

correctives émises par les stations de contrôle au sol de la circulation aérienne prennent trop pour parvenir aux pilotes pour que ceux-ci puissent changer de cap.

Les chiffres officiels relatifs au niveau cible de sécurité se situent entre 0,02 et 0,005 collision mortelle par million d'heures de vol. Cependant, l'information recueillie au cours du processus de collecte des données indique que les chiffres actuels du niveau cible de sécurité qui ont été obtenus se situent entre 0,035 et 0,008. **Une mise en œuvre complète de l'ADS-B spatioporté dans l'industrie du transport aérien d'ici 2020 permettrait d'améliorer de 76 % la conformité aux cibles officielles en matière de normes de sécurité.** Ceci est dû à la réduction de la latence dans les transmissions relatives au contrôle de la circulation aérienne, ce qui aide les compagnies aériennes à se conformer aux lois internationales en matière de sécurité à tout moment pendant les vols.

La technologie peut également contribuer à améliorer le suivi des vols en cas d'incident et à atténuer les risques d'accident futurs. Par exemple, le vol 370 de Malaysia Airlines, qui a disparu au-dessus de l'océan Indien, aurait pu faire l'objet d'un suivi; les communications avec les centres de contrôle de la circulation aérienne ont cessé peu de temps après le décollage, mais l'avion aurait encore pu être suivi si un transpondeur ADS-B avait été installé.

3.3.2.5 Amélioration de la rentabilité des compagnies aériennes

Les avions sont conçus et fabriqués pour des performances optimales et un rendement énergétique optimal. Pour mettre les choses en perspective, lorsqu'il atteint sa vitesse de croisière, un Boeing 747 consomme environ 4 litres de kérosène par seconde à un régime moteur moyen de 25 %. Le même avion, en montée, consommera environ 26 litres de kérosène par seconde à 80 % de la capacité moteur. Par conséquent, les stratégies commerciales des compagnies aériennes visent à réduire autant que possible le temps passé en montée, en privilégiant les trajectoires de montée les plus directes et verticales pour atteindre l'altitude de croisière.

Cependant, les réglementations et les contraintes internationales en matière de sécurité obligent souvent les pilotes à prolonger les phases de montée après le décollage, en décomposant les séquences de montée en plusieurs segments, ce qui ajoute des coûts supplémentaires à chaque vol en raison d'une consommation de carburant accrue et du fait de voler à une altitude non optimale. **Des études effectuées par NavCanada au-dessus de l'espace aérien de Gander-Shanwick ont conclu que la réduction des contraintes d'espacement des vols autorisée par l'ADS-B permettrait d'économiser 450 litres de carburant par vol, ce qui engendrerait des économies de 100 millions de dollars par an une fois l'ADS-B entièrement mis en œuvre en 2020**. Il est possible que cela se traduise par des tarifs aériens moins élevés pour le passager.

Une meilleure gestion des vols peut également se traduire par une réduction des temps de vol et des économies supplémentaires de carburant. Aireon a souligné que **l'utilisation d'itinéraires plus efficaces grâce à la technologie ADS-B permettrait d'économiser environ 3 minutes par voyage. Si l'on considère qu'il y a plus de 100 000 vols par jour, cela se traduirait par 5 000 heures de vol par jour**. **Dans le cas de l'espace aérien canadien de Gander, cela représenterait une économie de 75 heures de vol par jour pour les vols au-dessus de la région**. Compte tenu de l'expansion prévue du marché du transport aérien, cela pourrait également contribuer à réduire les retards des compagnies aériennes, à améliorer la logistique aéroportuaire et à améliorer la programmation des vols. La réduction de la durée et des retards des voyages aériens présente également d'autres avantages. Les études réalisées sur les impacts économiques américains liés aux retards des vols indiquent des conséquences défavorables sur la productivité au travail pendant les voyages d'affaires, et des impacts négatifs sur le tourisme, notamment. Les résultats disponibles montrent que le bien-être net aux États-Unis pourrait augmenter de plus de

15 milliards de dollars avec une réduction de 10 % du retard de vol.

3.3.2.6 Se souvenir du rôle du GNSS

Les avantages susmentionnés se concentrent en grande partie sur les nouveaux domaines technologiques, mais le rôle du GNSS et du GPS en particulier ne doit pas être ignoré. Plus de 100 000 vols décollent quotidiennement, avec en moyenne plus de 9 000 appareils en vol à tout moment, une tendance qui devrait s'accentuer au cours des décennies à venir. La technologie GPS par satellite est l'élément clé d'une telle expansion des capacités de transport aérien et de contrôle de la circulation aérienne, puisqu'elle fournit les coordonnées de géolocalisation à chaque transporteur aérien de passagers ou de marchandises, ce qui permet à ces derniers de calculer la position instantanée autour du globe et de transmettre l'information aux opérateurs au sol qui orientent le trafic. En utilisant un point de référence élaboré pour le marché de l'aviation américain, **on constate que les avantages du GPS sur l'efficacité du secteur de l'aviation commerciale du Canada entraînent un impact d'au moins 25 millions de dollars par an sur le PIB; en effet, la technologie sert de catalyseur clé à l'industrie nationale essentielle de 81 milliards de dollars qui a transporté plus de 91 millions de passagers et livré 1,15 milliard de tonnes de marchandises en 2017**[60]**.** Si d'autres technologies sont également essentielles à l'aviation, le passage à la navigation par satellite a permis une normalisation mondiale du contrôle de la circulation aérienne et une réduction des coûts opérationnels pour les institutions et les compagnies aériennes qui fournissent des services d'orientation.

Un récepteur à bord d'un avion est nécessaire pour acquérir et effectuer des calculs sur des données fournies par le GPS, plutôt que l'approche traditionnelle qui consiste à embarquer de multiples technologies de communication pour accommoder un certain nombre de services de navigation au sol qui varient selon les règlements régionaux et les modes de fonctionnement. La dépendance actuelle à l'égard des systèmes du GNSS, et du GPS en particulier, pour la navigation aérienne est liée à l'existence et aux services de correction de géolocalisation fournis par un système spatial complémentaire au GPS, le système de renforcement basé dans l'espace (SBAS). Exigé par les institutions de contrôle de la circulation aérienne, le SBAS a pour principal objectif d'aider l'industrie de l'aviation civile à suivre les aéronefs partout dans le monde et à ajouter de la précision aux méthodes de géolocalisation GPS en corrigeant diverses erreurs qui sont intrinsèquement liées à la nature spatiale du GPS.

[60] « *The economic value of GPS: preliminary assessment* ». Leveson. I (2015). Consulté à l'adresse : https://www.gps.gov/governance/advisory/meetings/2015-06/leveson.pdf

3.3.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA

3.3.3.1 Solutions par satellite

La technologie des transpondeurs ADS-B fonctionne grâce à des émetteurs et à des récepteurs installés à bord des avions. Ce système transmet des données en temps réel sur la position, la direction du vol, l'altitude, la vitesse aérienne, la montée et la descente, etc., des avions émetteurs. Les transmissions sont acheminées en utilisant la bande de fréquences de 1090 MHz réglementée par l'UIT. Du moment que les deux parties disposent d'installations ADS-B compatibles, les communications peuvent être permises entre : deux aéronefs en exploitation, un avion et un aéroport, une station ARTCC, ou un récepteur terrestre ADS-B éloigné. Le système de distribution de données ADS-B s'appuie sur les satellites GPS/GNSS comme source principale d'information, l'information de géolocalisation étant traitée par les instruments internes de l'opérateur avant d'être diffusée.

Une liaison de communication par satellite est alors utilisée pour transmettre l'information. Dans les régions éloignées, c'est souvent la seule possibilité. Les systèmes satellitaires dotés de transpondeurs ADS-B font leur entrée sur le marché : Aireon met en œuvre cette technologie dans les charges utiles de la constellation Iridium NEXT, offrant ainsi une couverture mondiale et des performances semblables à celles de l'ADS-B terrestre en termes de latence et de taux de rafraîchissement des données. Cette solution sera pleinement opérationnelle lorsque le dernier satellite Iridium NEXT sera mis en orbite au milieu de l'année 2018. En juin 2018, aucune annonce officielle n'avait encore été faite quant à l'installation de charges utiles secondaires ADS-B sur une autre constellation de satellites.

Des programmes gouvernementaux tels que le Single European Skies ATM Research (SESAR) sont actuellement à la recherche d'autres approches novatrices pour améliorer leur système de gestion de l'aviation. Dans ce cas, la communication par satellite a été choisie, dans le cadre d'un partenariat avec Inmarsat, Thales Alenia Space et l'Agence spatiale européenne, en tant que solution pour distribuer les transmissions sécurisées et à haute capacité du poste de pilotage. Cette solution permettra également d'atteindre les objectifs à long terme de SESAR, qui sont d'optimiser l'espace aérien européen en réduisant les émissions dues à la circulation aérienne, d'améliorer la trajectoire des vols et de réduire le temps passé dans les airs et les retards.

3.3.3.2 Solutions de rechange

L'ADS-B terrestre a été mis en œuvre au sol, succédant ainsi aux technologies radar terrestres plus coûteuses. À l'heure actuelle, les deux systèmes sont utilisés simultanément et constituent une solution complémentaire à l'ADS-B spatial émergent. Il n'existe pas de solution de rechange réelle à la solution spatiale là où il n'y a pas d'infrastructure terrestre, par exemple au-dessus des océans. Par conséquent, les solutions par satellite fournissent le seul service offert n'importe où et à tout moment.

3.3.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future

Malgré la facilité de déploiement de la technologie ADS-B, certaines régions du monde sont trop difficiles d'accès ou ne permettent pas l'installation d'équipement au sol adéquat pour soutenir les moyens de communication. Cependant, pour la plupart des régions, il y a moins de contraintes. Les grandes institutions de régulation des vols ont adopté la mise en œuvre du système dans leur politique future. Les institutions américaines et européennes de contrôle de la navigation aérienne, la FAA et EUROCONTROL, demandent à tous les avions commerciaux de se conformer à la réglementation « ADS-B Out » établie par ces

organismes d'ici 2020. NavCanada a adopté la même stratégie et exigera que tous les aéronefs qui voyagent à partir des espaces aériens du Canada, ou à travers ces derniers, respectent ces règlements.

SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

3.4 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DE LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

En matière d'utilisation des ressources spatiales, la surveillance de l'environnement est d'abord considérée comme une application de l'OT; l'observation de la Terre, qui a d'abord servi à la surveillance de divers environnements, peut être considérée comme la première application de l'imagerie à des fins civiles. On utilise toutefois les communications à faible débit de données pour recueillir sur le terrain des renseignements sur diverses variables environnementales.

Aux fins de la présente étude, la surveillance de l'environnement est examinée selon trois points de vue : la surveillance à l'échelle mondiale dans le cadre de la recherche sur les changements climatiques à l'appui des politiques gouvernementales, les répercussions d'une meilleure surveillance des environnements et des écosystèmes locaux et les répercussions de la population et de l'industrie sur l'environnement et les écosystèmes locaux, qui pourraient avoir des répercussions sur la surveillance de l'environnement à l'échelle mondiale.

Les changements climatiques demeurent au premier rang des priorités politiques des gouvernements, et les agences spatiales axées sur la R et D à l'échelle mondiale ont orienté certaines de leurs activités sur la collecte de données à l'appui de la surveillance de l'environnement. Une telle approche permet de soutenir les politiques gouvernementales visant à atténuer les impacts à court, à moyen et à long termes des changements climatiques, ainsi que d'autres domaines tangibles à l'appui du développement durable (urbanisation, gestion des ressources, etc.) et des populations directement touchées par les impacts des changements climatiques (sécurité alimentaire, qualité de l'air, temps violent, catastrophes naturelles grandissantes, etc.). D'autre part, il est nécessaire de mieux comprendre comment la Terre fonctionne et comment les environnements terrestres, océaniques et atmosphériques interagissent, par exemple en construisant des modèles de prévisions météorologiques numériques à long terme, en comprenant les réserves mondiales de carbone, les tendances des émissions de gaz à effet de serre, etc.

Ces variables tiennent généralement compte d'une collecte de données plus globale. Une collecte plus localisée est nécessaire, également pour recueillir des données à l'appui de la recherche, mais d'autres éléments entrent alors en ligne de compte, comme la façon d'appuyer les populations ou les entreprises individuelles. Par exemple, les forêts peuvent être surveillées quant à leur importance environnementale en tant que puits de carbone, mais aussi afin de mieux les gérer en surveillant des aspects tels que la déforestation et l'exploitation illégale. Des activités comme le programme de réduction des émissions issues de la déforestation et de la dégradation des forêts (REDD) de l'ONU soutiennent ces rôles[61]. Les avantages à cet égard résident dans une meilleure gestion des terres et des forêts et dans le soutien à la régénération des forêts. D'autres aspects résident dans les conséquences d'un environnement changeant. Par exemple, l'évolution et la fonte des glaces de mer ont des répercussions sur les populations locales et les navires en transit; les fluctuations météorologiques peuvent également avoir des répercussions sur les populations et les administrations locales.

[61] *« Programme REDD de l'ONU »*. Nations Unies (2018). Consulté à l'adresse : http://www.un-redd.org/

Une surveillance plus localisée est nécessaire pour évaluer les activités des populations et de l'industrie et de mesurer l'impact qu'elles peuvent avoir sur l'environnement. On s'intéresse de plus en plus aux impacts que les activités industrielles ont eus ou ont sur l'environnement local. Par exemple, pour la surveillance du nettoyage et de la restauration des sites miniers et des bassins de résidus ou la surveillance des émissions et des impacts de l'industrie sur l'environnement local. Les entreprises elles-mêmes jouent également un rôle plus important pour soutenir la responsabilité sociale des entreprises.

3.4.1 ANALYSE DOCUMENTAIRE DE L'UTILISATION DE L'APPLICATION

3.4.1.1 Communications par satellite

Les communications par satellite sont utilisées dans la surveillance de l'environnement pour la transmission des mesures prises par des capteurs in situ (p. ex. composition chimique des océans, salinité, niveaux de glace, température, pollution, pression des têtes de puits de pétrole, etc.) aux stations réceptrices. Il s'agit généralement de liaisons de communication à bande étroite utilisant des débits de données faibles (tels que l'IdO ou les communications machine-machine). Comme les capteurs in situ sont souvent situés dans des régions éloignées et/ou dans des environnements difficiles, le satellite représente une solution appropriée pour transmettre l'information du capteur à la station au sol en vue de sa diffusion ultérieure aux utilisateurs finaux (scientifiques, entreprises, ministères et organismes gouvernementaux, etc.) Si l'objet surveillé est mobile, les informations recueillies sont combinées avec le GPS pour fournir l'emplacement du capteur. De multiples initiatives dans le monde utilisent des solutions satellitaires pour la surveillance de l'environnement. Argo, par exemple, est un système international de surveillance du climat océanique par satellite composé d'environ 4 000 flotteurs dérivants équipés de balises autonomes. Les flotteurs mesurent la température et la salinité des océans.

L'utilisation des communications par satellite peut se traduire par des économies de coûts et une efficacité opérationnelle accrue par rapport à la collecte manuelle des données. Par exemple, une étude menée par Pacific Data System en Australie a montré que l'intégration du satellite dans le système de surveillance des eaux de forage des mines du Queensland pourrait réduire les coûts de 2 000 $/mois (pour la collecte manuelle des données une fois par mois) à 1 250 $/mois (pour la transmission des mesures quotidiennes par satellite). L'utilisation de satellites réduit les déplacements du personnel vers les régions éloignées où se trouve la mine, ce qui se traduit également par une productivité accrue et une plus grande sécurité des opérations[62].

Les technologies de communication par satellite et GPS sont également essentielles pour la surveillance de la faune et la collecte d'informations sur ses schémas de migration et ses comportements. Cette information sert à protéger les espèces en péril et à relever les défis environnementaux comme les changements climatiques et la perte de biodiversité. CLS-Argos, par exemple, a suivi plus de 900 ours blancs depuis 1981. Ces données ont aidé le Sea Ice Downstream Services for Arctic and Antarctic Users (SIDARUS) à démontrer une forte corrélation entre l'emplacement de l'ours et la configuration des glaces. De même, plus de 100 000 animaux marins ont été suivis depuis 1978 et environ 200 mammifères terrestres et 4 500 oiseaux sont suivis chaque mois[63].

---

[62] « *Remote Monitoring and Satellite Communications* ». Pacific Data Systems (2018). Consulté à l'adresse : http://pacdatasys.com.au/media/21595b34-896c-46d9-90d8-3d864d91e424

[63] « Wildlife Monitoring ». Argos (2018). Consulté à l'adresse : http://www.argos-system.org/applications-argos/wildlife-monitoring/

3.4.1.2 Imagerie (observation de la Terre)

Le Système mondial d'observation du climat (SMOC) de l'ONU a établi 54 variables climatiques essentielles (VCE) qui sont cruciales pour les observations climatiques durables[64]. Ces 54 VCE (*décrites ici*[65]) sont divisées en trois catégories : atmosphère, océan et terre, y compris les variables d'application telles que les mesures/surveillance des précipitations, la glace de mer, la température, la superficie des feuilles, la qualité de l'air, l'humidité du sol, les incendies, etc. Les principales agences spatiales telles que la NASA, l'ESA/U.E., la JAXA, etc. ont lancé une capacité satellitaire dédiée à l'OT afin de recueillir des informations relatives à ces variables de manière régulière et continue. Les solutions sont souvent générées par des agences non spatiales grâce à une association étroite entre les données recueillies par l'agence et l'organisme de recherche. Par exemple, les mesures de la température de l'air sont fournies mensuellement à l'échelle mondiale par le Copernicus (U.E.) Climate Change Services, et mis en œuvre par l'intermédiaire du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT); le Soil Moisture Active Passive (SMAP) de la NASA fournit des données sur l'humidité du sol et l'état gel-dégel, etc[66]. L'utilisation des satellites varie beaucoup selon l'information à recueillir. Pour donner une idée de l'ampleur des systèmes utilisés, les principaux programmes gouvernementaux ont lancé 120 satellites au cours de la dernière décennie, dont la majorité à l'appui de la recherche en surveillance environnementale, pour une valeur totale de 17,5 milliards de dollars[67].

D'autres domaines prennent de plus en plus d'importance, en réponse à des intérêts politiques variés, comme le renforcement de la résilience face aux phénomènes météorologiques et environnementaux extrêmes. Les applications se concentrent sur la prévision des secteurs susceptibles (p. ex. aux inondations, aux vents forts, etc.), tandis que le Programme de surveillance et d'évaluation du Conseil de l'Arctique (PSEA) vise à fournir des conseils scientifiques objectifs à l'appui des efforts déployés par le gouvernement pour gérer les impacts dans l'Arctique. La santé publique est un autre sujet de préoccupation, comme la surveillance de la pollution atmosphérique, par exemple, et le lien entre les constituants atmosphériques et les maladies respiratoires. La plateforme ENSEMBLE du CCR de la CE en Europe modélise la chimie et la dispersion atmosphériques à l'aide de données combinant des systèmes météorologiques avec des balayeurs à grande surface (comme MODIS) et des instruments de sondage des limbes, afin d'évaluer la qualité de l'air et d'atténuer les effets de la pollution[68].

Des études plus localisées ont également été réalisées dans le cadre de l'initiative Copernicus de l'U.E. Une étude des glaces de mer en Finlande à l'aide de données SAR (série RADARSAT, Sentinel-1 et ERS-1 archivés) combinées à des cartes des glaces in situ a démontré l'importance de mesurer la glace de

---

[64] « *The Global System for Climate: Implementation Needs »,* U.N. GCOS (2016). Consulté à l'adresse : https://unfccc.int/files/science/workstreams/systematic_observation/application/pdf/gcos_ip_10oct2016.pdf

[65]« *The GCOS Essential Climate Variable (ECV) Data Access Matrix ».* NOAA (2018). Consulté à l'adresse : https://www.ncdc.noaa.gov/gosic/gcos-essential-climate-variable-ecv-data-access-matrix

[66] « *Average surface air temperature monthly maps ».* Copernicus (2018). Consulté à l'adresse : https://climate.copernicus.eu/resources/data-analysis/average-surface-air-temperature-analysis

[67] « *Satellite-based Earth Observation, Market Prospects, 10 edition* ». Euroconsult (2017). **Notons que tous les satellites ne sont pas spécifiquement destinés à la surveillance de l'environnement; la majorité d'entre eux se concentrent cependant sur ce point - y compris tous les satellites d'institutions comme la NASA, l'ESA/U.E., EUMETSAT, NOAA, et la majorité de ceux de la JAXA, CNES, DLR, etc.*

[68] « *ENSEMBLE model evaluation platform ».* Commission européenne (2016). Consulté à l'adresse : https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/model-evaluation-platform-ensemble

mer pour appuyer la navigation en mer. Les données SAR remplacent l'utilisation d'hélicoptères pour aider à trouver les meilleures routes à travers les glaces : cela permet d'économiser du carburant et de réduire l'incertitude quant à l'heure d'arrivée des navires dans les ports. L'étude conclut qu'une valeur économique de 24 à 116 millions d'euros par an est générée en Finlande et en Suède grâce à l'utilisation des données satellitaires[69].

Si la surveillance de l'environnement est avant tout axée sur les pouvoirs publics, le secteur privé y participe de plus en plus afin de respecter la réglementation environnementale, notamment dans l'industrie pétrolière et gazière (exploration, exploitation et nettoyage) et dans les secteurs agricoles (érosion des sols, pollution des eaux) et l'évaluer les impacts potentiels sur les écosystèmes. Les solutions d'OT, combinées à des mesures in situ par exemple, peuvent être utilisées pour réaliser des audits de conformité et des études d'impact sur l'environnement.

3.4.1.3 Navigation par satellite

En raison du degré élevé d'intégration entre le GPS et les solutions de communications par satellite, ces applications sont évaluées ensemble dans la section Communications par satellite.

3.4.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT AU CANADA

La surveillance de l'environnement est un thème vaste, si bien que les avantages mentionnés ci-dessous ne sont considérés que comme un petit échantillon des avantages plus larges associés à l'utilisation des ressources spatiales. Par exemple, la recherche et le soutien opérationnel en matière de surveillance de l'environnement constituent la plus importante application de l'imagerie d'observation de la Terre par les gouvernements civils, et le Canada, avec sa masse terrestre et ses zones côtières diversifiées et étendues, ne fait pas exception. En effet, la recherche axée sur le Canada, comme les impacts des puits de carbone dans la forêt boréale canadienne, la mesure de l'étendue du pergélisol dans la surveillance des changements climatiques et la fonte des glaces ne sont que quelques-uns des thèmes qui touchent le Canada et ses environs, mais qui présentent un intérêt mondial. En outre, les activités opérationnelles où l'observation de la Terre joue un rôle essentiel, comme celles des services météorologiques, ne sont pas couvertes de façon distincte, même si elles sont importantes pour les entreprises, le soutien des transports, la sécurité publique, etc. L'étude se concentre plutôt sur quelques cas d'avantages précis qui ont été abordés au cours du processus de consultation.

Les avantages de l'utilisation d'actifs satellitaires pour la surveillance de l'environnement sont peut-être les plus divers des six segments étudiés. Les avantages pour les utilisateurs finaux comprennent le soutien des politiques et des règlements gouvernementaux, l'appui à la recherche sur les changements climatiques et leurs impacts sur des écosystèmes plus localisés, le soutien opérationnel à la santé publique et le soutien aux entreprises. Les organismes qui développent ces services peuvent également s'intégrer dans plusieurs catégories : Environnement Canada et le Service canadien des glaces, par exemple, mènent des recherches sur l'évolution de la fonte des glaces, tout en fournissant des cartes opérationnelles des glaces de mer à l'appui de l'industrie maritime. Les avantages sélectifs décrits ci-dessous sont ceux dont il a été question au cours de la consultation.

---

[69] « *Copernicus Sentinels' Products Economic Value: A Case Study of Winter Navigation in the Baltic* ». EARSC (2015). Consulté à l'adresse : https://earsc-portal.eu/pages/viewpage.action?pageId=35620366

RÉSUMÉ DES AVANTAGES SÉLECTIFS DÉTERMINÉS

TYPE	AVANTAGE	
QUANTITATIF	SIGNALEMENT DU TRANSPORT MARITIME ILLÉGAL	• Plus de 200 anomalies pétrolières ont été détectées par les services ISTOP du CIS entre 2013 et 2017, et 39 d'entre elles se sont révélées être des rejets par des navires océaniques.
	AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ DU TRANSPORT MARITIME	• Selon l'état des glaces, les navires peuvent prendre de 7 à 21 jours pour naviguer de Montréal à l'île de Baffin. En utilisant les cartes des glaces du SCG, même avec les gains marginaux prévus, de l'ordre de 10 à 20 %, l'industrie du transport maritime réaliserait une économie de 5 à 10 millions de dollars pendant la saison de navigation arctique.
	SOUTENIR LA COLLECTE DE DONNÉES À L'ÉCHELLE MONDIALE	• Le Canada participe au programme du Réseau pour l'océanographie géostrophique en temps réel (ARGO), qui appuie la collecte de données océaniques in situ pour la modélisation du climat. Le Canada exploite environ 85 flotteurs ARGO, avec un accès aux données de plus de 4 000 éléments. Cela permet au Canada d'offrir de meilleurs modèles de prévision et d'appuyer la recherche dans l'ensemble du pays au moyen d'études d'importance tant nationale que mondiale.
QUALITATIF	ACCÈS AUX DONNÉES CLIMATIQUES	
	SURVEILLER LES PRATIQUES D'UTILISATION DES TERRES	• Fournir des lignes directrices stratégiques pour soutenir la production de milieux humides et protéger leur écosystème sensible. Surveiller les impacts des intrusions d'origine humaine dans l'écosystème des milieux humides et déterminer les zones à risque.
	APPUYER LA RÉGLEMENTATION LIÉE À L'EXPLOITATION MINIÈRE	• Contribuer à l'élaboration d'une réglementation réaliste que les industries minières pourront suivre afin d'atténuer les niveaux de bruit et de poussière et les impacts que cela pourrait avoir sur la population faunique locale. À l'avenir, on s'attend à ce que l'imagerie soit davantage utilisée pour appuyer la remise en état des sites miniers; des études pilotes se sont déjà révélées efficaces.
	PROTÉGER LA FAUNE	• Surveiller les impacts environnementaux sur l'île de Sable pour soutenir les populations locales de phoques et de chevaux.

3.4.2.1 Surveillance de l'environnement à l'appui des pratiques exemplaires en utilisation des terres

Une partie du rôle de RNCAN consiste à surveiller les habitats naturels et les écosystèmes pour déceler les changements causés soit par les changements climatiques, soit par les impacts plus localisés des activités humaines. À cet égard, l'imagerie sert à appuyer la prise de décisions stratégiques et à cerner les secteurs à risque ou à atténuer les risques qui pourraient le devenir.

RNCan se concentre notamment sur la surveillance des terres humides. Celles-ci agissent comme un filtre naturel qui retient les éléments indésirables avant qu'ils n'entrent dans le réseau hydrographique; l'écosystème est donc sensible aux changements environnants. Les changements dans les zones humides peuvent être surveillés par imagerie satellitaire et les zones à risque peuvent être mises en évidence afin de fournir des mesures de soutien. Les causes de ces impacts peuvent également être déterminées, notamment en cas de changements dans les infrastructures environnantes susceptibles d'avoir modifié le bassin versant, par exemple en provoquant l'assèchement de certaines zones en perturbant les canaux d'irrigation naturels. **L'objectif est de pouvoir fournir les bonnes lignes directrices pour assurer la production des zones humides. Pour ce faire, on mesure le rapport entre la mousse et la végétation à feuilles larges à l'aide d'images satellitaires optiques.**

L'industrie milite également en faveur d'une meilleure gestion des environnements locaux. Par exemple, les terres humides au nord de Yellowknife sont cartographiées afin de déterminer l'emplacement des tourbières et des marécages. Comme la tourbe peut brûler, il est important de savoir où se trouvent les tourbières en cas de feux de forêt. La région est également un site de production de sables bitumineux, et

le secteur privé veut démontrer qu'il fait preuve d'intégrité en surveillant tout changement dans l'environnement local.

On s'inquiète également des activités humaines qui influent sur le comportement naturel de la faune. Par exemple, il y a de moins en moins de troupeaux de caribous au Canada, pour des raisons qui ne sont pas encore bien comprises, mais l'activité humaine pourrait évidemment être en cause. **Les modèles altimétriques numériques tirant profit de données satellitaires optiques ont permis de construire des modèles permettant de modéliser le bruit et la poussière dans les sites industriels.** Si des populations de caribous se trouvent dans la région, la production peut être interrompue. En utilisant l'imagerie satellitaire pour démontrer les retombées du bruit et de la poussière, on peut déterminer une « zone d'incidence » de 1 km autour des sites miniers pour une meilleure gestion et protection de la faune. Si les caribous entrent dans la zone, la production est interrompue jusqu'à ce qu'ils quittent la zone. **L'imagerie satellitaire favorise donc une réglementation plus réaliste et plus efficace dans le cadre de laquelle l'industrie minière s'efforce d'atténuer les impacts sur la faune locale**.

Protection de la faune de l'île de Sable

RNCan utilise l'imagerie d'observation de la Terre pour surveiller les changements dans les terres de l'île afin de s'assurer que la population équine dispose de suffisamment de nourriture.

Sur l'île de Sable, la quantité de végétation et le volume des terres changent fréquemment : l'accumulation de sable peut augmenter la superficie de l'île, tandis que les grandes tempêtes peuvent avoir un effet néfaste. La taille de l'île peut varier de 10 km^2 par an. Ces changements sont suivis par imagerie aérienne depuis les années 1950 et, plus récemment, grâce aux données satellitaires, qui peuvent être recueillies de façon plus régulière. Particulièrement, par exemple, après une grosse tempête.

Le maintien de l'écosystème de l'île de Sable vise à protéger la faune, en particulier les phoques (l'île de Sable abrite la majorité des 400 000 phoques gris du Canada atlantique) et les quelque 500 chevaux de l'île de Sable. Une forte onde de tempête peut couvrir la végétation des prairies dont les chevaux ont besoin pour se nourrir. En utilisant l'imagerie satellitaire pour surveiller la couverture végétale après une tempête, on peut décider s'il y a suffisamment de nourriture ou si des mesures doivent être prises pour protéger la population de chevaux.

3.4.2.2 Repérer le transport maritime illégal

Le Programme de surveillance intégrée des pollueurs par les hydrocarbures (ISTOP) est un programme du Service canadien des glaces (SCG) d'Environnement Canada. Après des études pilotes, le programme est devenu opérationnel en 2013. Son but est de protéger l'environnement côtier, sensible à la pollution, et plus particulièrement à la pollution par les hydrocarbures. Chaque année, les déversements illégaux d'hydrocarbures par les navires au large de la côte Est du Canada déciment de grandes populations d'oiseaux de mer migratoires. De tels déversements constituent une infraction en vertu de la *Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs*, de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* et de la *Loi sur les pêches*. On utilise les données SAR des séries RADARSAT-2 et Sentinel-1 pour surveiller

les déversements d'hydrocarbures et identifier le navire potentiellement responsable du déversement. La pollution marine par les hydrocarbures est mesurée en termes de superficie et de fréquence des rejets. Les rapports de pollution potentielle par les hydrocarbures sont utilisés par les organismes d'application de la loi et de nettoyage du gouvernement du Canada pour faire face aux déversements identifiés. **De 2013 à 2017, le service ISTOP a identifié plus de 200 anomalies pétrolières, dont 39 ont été confirmées** (dans certains cas, les navires sont autorisés à nettoyer leurs réservoirs dans des zones désignées ou les anomalies ne relèvent pas de la compétence du gouvernement canadien). Ces cas peuvent ensuite faire l'objet d'une action en justice[70].

3.4.2.3 Accroître l'efficacité de l'industrie du transport maritime

Le SCG fournit des cartes des glaces, suit l'évolution des icebergs, fournit des données sur les glaces de mer et les glaces intérieures pour appuyer la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) et pour aider l'industrie du transport maritime à optimiser les déplacements maritimes. De nombreux navires circulent dans les eaux canadiennes et, en tant que signataire de la Convention SOLAS, le Canada est responsable d'assurer la sécurité de la navigation.

Pour ce faire, le SCG fournit des cartes des glaces à source ouverte qui peuvent être utilisées pour planifier des itinéraires optimaux dans la glace de mer. Ces cartes, qui sont fondées sur les données RADARSAT-2 et Sentinel-1, permettent directement à l'industrie du transport maritime de réduire le temps passé en mer et de réaliser des économies de carburant. **Selon l'état des glaces, les navires peuvent prendre de 7 à 21 jours pour naviguer de Montréal à l'île de Baffin. Le SCG fournit des cartes des glaces afin que les navires puissent choisir les routes optimales, ce qui permet de réaliser des économies de carburant, de réduire l'impact sur l'environnement et d'améliorer l'efficacité des opérations maritimes.** Ce sujet est abordé plus en détail dans la section « Transports » du présent rapport.

L'utilisation des cartes des glaces fournies par le SCG et complétées par d'autres sources de données, rend la navigation dans les eaux arctiques et les eaux sujettes aux glaces de mer plus sécuritaire et plus efficace. De 100 à 200 gros navires traversent les eaux arctiques canadiennes chaque année. Bien que le nombre ne soit pas très important, ces déplacements sont nécessaires pour soutenir la population locale et les industries opérant dans la région, en particulier l'exploitation minière. La variation en nombre est principalement attribuable aux activités minières. Par exemple, jusqu'à 60 navires peuvent naviguer pour soutenir les opérations de minerai de fer.

Les groupes Enfotec et Fednav sont responsables de la surveillance et de l'analyse des glaces pour le compte de leurs clients, en plus d'exploiter trois brise-glaces. Ils fournissent des cartes de navigation dans les glaces à leurs clients (principalement des exploitations minières et leur chaîne d'approvisionnement). Les données fournies aux navires sont utilisées pour choisir le meilleur itinéraire à bord du navire. Cette solution est offerte à environ 25 navires par année (lesquels transportent principalement des marchandises), dont sept naviguent en hiver.

Il n'y a pas eu de changement important dans le nombre de navires qui traversent les eaux arctiques canadiennes, et la demande ne devrait pas trop varier en raison de la glace de mer. Enfotec estime que la demande varie avec les fluctuations de l'industrie minière. Ainsi, la croissance devrait être plus stable, avec des hauts et des bas dictés par des forces extérieures, en particulier les prix des matières premières. Toutefois, Fednav et le gouvernement auront toujours un rôle à jouer pour soutenir les collectivités du Nord

[70]À noter qu'Environnement Canada n'a pas le mandat de suivre ces dossier jusqu'à terme afin de voir si ces cas confirmés donnent lieu à des poursuites. On se doute que certains cas mènent à des poursuites, mais Environnement Canada ne possède pas de données directes à ce sujet.

à l'extérieur de l'industrie minière. Par conséquent une augmentation du trafic entraînerait également des déplacements de population. Toutefois, la population du Nord est demeurée relativement stable, et elle a même diminué par endroits.

Les données fournies par Enfotec à l'aide de l'imagerie satellitaire sont utilisées pour affiner la navigation. Il est à noter que les navires doivent passer, quelle que soit la situation, de sorte que même si les données sont considérées comme très importantes, elles sont surtout utilisées pour obtenir des gains marginaux et pour assurer le confort et un avertissement précoce en cas de conditions de glace plus difficiles.[71] Néanmoins, les coûts d'exploitation des navires sont élevés : 50 000 $/jour pour faire fonctionner un brise-glace et 24 000 $/jour pour le carburant (selon les estimations actuelles). L'exploitation d'un navire de charge coûte 14 000 $/jour et le carburant coûte 15 000 $/jour. Ainsi, un voyage de 15 jours en navire de charge de Québec à Deception Bay coûterait 500 000 $. Ces coûts peuvent augmenter rapidement. L'exploitation de trois brise-glace pendant une saison de 60 à 70 jours (c'est-à-dire lorsque les routes maritimes sont navigables pendant l'été) coûterait plus de 14 millions de dollars. En outre, 100 navires effectuant des voyages similaires à celui cité dans l'exemple ci-dessus coûteraient un total de 50 millions de dollars. **Même les gains marginaux prévus, de l'ordre de 10 à 20 %, se traduiraient par une économie de 5 à 10 millions de dollars pour l'industrie maritime pendant une saison de navigation plus calme**. Il faut également tenir compte des effets d'entraînement, tels que l'acheminement plus rapide des marchandises sur le marché ou leur livraison plus efficace à la population locale.

3.4.2.4 Améliorer les prévisions météorologiques grâce à ARGO

ARGO est un système opérationnel de prévision qui recueille des informations sur la glace de mer et l'état de l'océan à partir de nombreuses bouées ou « flotteurs » en haute mer. Les données sont utilisées pour améliorer les prévisions météorologiques et les prévisions numériques. En particulier, elles permettent de mieux prévoir la formation des tempêtes. Des études ont démontré la nécessité d'avoir une source continue de données opérationnelles afin d'évaluer le couplage et de lier les processus physiques de l'atmosphère et de l'océan dans la modélisation climatique. La recherche a montré que les données ARGO constituent un outil essentiel pour la modélisation océanique et que sans celles-ci, les modèles de prévision sont dégradés[72].

Les données recueillies par les flotteurs ARGO sont transmises par la constellation Iridium. Des 4 000 flotteurs ARGO en service, 85 sont exploités par le Canada par l'intermédiaire du ministère des Pêches et des Océans (MPO). Le budget d'exploitation pour la gestion de la collecte des données est de 30 000 à 50 000 $/an, dont la plus grande partie (80 %) est associée à des contrats commerciaux pour l'accès à la constellation Iridium. Compte tenu d'une durée de vie de 4 à 5 ans des flotteurs et d'un coût de remplacement de 20 000 à 25 000 $ par flotteur, le budget annuel total est de l'ordre de 400 000 $/an pour soutenir la participation du Canada au programme.

Chaque flotteur fournit un profil océanique jusqu'à 2 km sous la surface tous les 10 jours (une fois plongé, le flotteur dérive pendant environ neuf jours avant d'atteindre la surface pour transmettre les données au satellite), fournissant des informations sur la salinité de l'océan (en mesurant la conductivité) et la température de surface. On cherche à élargir le système ARGO pour y inclure la collecte de données sur d'autres paramètres, comme la mesure de la chlorophylle et du pH. Cet ajout de capteurs et de transmission

---

[71] Enfotec note qu'avant l'avènement de l'imagerie satellitaire durant les années 1960-1970, les navires devaient passer et se contentaient d'observations sur le pont transmises par radio, et de levés aériens lorsque cela était possible (rarement, en raison des coûts élevés).

[72] Source : « *Assessing the impact of observations on ocean forecasts and reanalyses: Part 1, Global studies* », Oke P.R. et coll. 2015

de données pourrait faire augmenter les coûts; on espère toutefois que ces derniers pourront être maintenus en réduisant les coûts de transmission de données par satellite.

Toutes les données du programme sont rendues publiques dans les 24 heures suivant leur collecte. Même si le Canada exploite 2 % seulement du nombre total de flotteurs, en tant que partenaire du programme, il a accès aux données dans tout le système. Le Système global de prévision océan-glace (SGPOG) du Réseau opérationnel canadien de systèmes couplés de prévisions environnementales (ROCSCPE) assimile les données Argo sur une base hebdomadaire. Par exemple, les flotteurs Argo déployés dans la mer du Labrador sont un élément important d'un projet de recherche du CRSNG sur les changements climatiques et l'atmosphère intitulé VITALS (Ventilation, Interactions and Transports Across the Labrador Sea). La recherche tente de répondre à des questions fondamentales sur la façon dont les grands fonds océaniques échangent le dioxyde de carbone, l'oxygène et la chaleur avec l'atmosphère dans la mer du Labrador. Grâce aux nouvelles observations et à la modélisation, les chercheurs pourront déterminer ce qui régit ces échanges et leur interaction avec le climat variable, afin de comprendre le rôle des régions de convection profonde dans le cycle du carbone et le système terrestre. De plus, les scientifiques du Centre météorologique canadien ont assimilé en temps réel les données Argo sur la température et la salinité en mode expérimental en 2013. Les résultats ont révélé une meilleure capacité de prévision que dans le modèle opérationnel actuellement utilisé par Environnement Canada pour diffuser les prévisions météorologiques. Cette capacité améliorée s'observe principalement pour des périodes de prévision de 48 heures et plus.

3.4.2.5 Remise en état de sites miniers

On s'attend à ce que l'imagerie satellitaire joue un plus grand rôle dans la gestion opérationnelle des sites à différentes échelles. Par exemple, **l'imagerie satellitaire s'est révélée efficace pour surveiller la remise en état des sites miniers**. À l'aide d'images satellitaires et aériennes pour surveiller les taux de chlorophylle qui reviennent, on a remis en état un terrain de 200 km x 200 km à l'extérieur de Sudbury, en Ontario. Auparavant, les terres présentaient des niveaux élevés d'anhydride sulfureux, causés par les processus de fusion, et étaient donc trop toxiques pour être utilisées. De la chaux a été ajoutée au sol afin de rééquilibrer le pH. L'imagerie satellitaire permet de détecter les endroits où l'intervention fonctionne et où le sol redevient sécuritaire, ou de cerner les endroits où un traitement supplémentaire est nécessaire. Environ 100 sites supplémentaires peuvent être soutenus de la même manière pour remettre en état les terres afin qu'elles soient sécuritaires et qu'elles puissent être utilisées.

3.4.2.6 Surveillance des schistes bitumineux

Bien que le système ne soit pas encore opérationnel, le ministère de l'Environnement et des Parcs de l'Alberta devrait commencer à utiliser davantage de données d'observation de la Terre au cours des six à douze prochains mois pour surveiller systématiquement les sables bitumineux et déceler tout impact sur l'environnement. Un processus est en cours pour définir les paramètres à tester et les ensembles de données à utiliser (gouvernementaux ou commerciaux), selon le rapport coûts-avantages.

3.4.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA

3.4.3.1 Solutions par satellite

Dans le cas de l'imagerie satellitaire, la plupart des données utilisées sont celles qui peuvent être obtenues librement. Soit par l'utilisation des données de RADARSAT-2 offertes aux ministères gouvernementaux, soit par l'utilisation plus large de données de tiers librement accessibles, en particulier les séries LANDSAT et Sentinel. La série LANDSAT fournit également d'importantes données chronologiques en raison de la longévité du système. MODIS fournit d'autres données pour la surveillance de la qualité de l'air.

Pour la surveillance des habitats, comme la surveillance des milieux humides, on utilise surtout les données optiques : Landsat, MODIS, Sentinel-2. Le Service canadien des glaces compte davantage sur les données radar pour assurer la surveillance des glaces. Le SCG est l'un des plus grands utilisateurs des scènes RADARSAT-2, et en a utilisé près de 14 500 en 2017. De plus, il a utilisé plus de 30 000 scènes Sentinel-1. L'ajout d'une autre source de données SAR d'une tierce partie a considérablement accru la capacité d'acquisition et l'utilité des données. En outre, plus de 80 000 scènes d'images provenant de plusieurs capteurs, dont le satellite météorologique GOES et les systèmes MODIS, AVHRR et AMSR, ont été utilisées.

En ce qui concerne la production de cartes des glaces de mer, RADARSAT-2 constitue une ressource importante. Il est d'ailleurs le principal outil du SCG pour la préparation des cartes des glaces. Enfotec utilise toutefois d'autres ensembles de données pour développer ses propres services sur mesure. Cela comprend les données Sentinel-1 disponibles gratuitement et, à l'occasion, l'achat de données commerciales. L'achat commercial permet d'obtenir des ensembles de données de plus haute résolution. Environ 10 images/an sont acquises, le coût de celles-ci .étant en partie transféré au client. Dans ces cas, les principales sources de données sont COSMO-Skymed et TerraSAR-X. Enfotec note la rapidité de réponse de TerraSAR-X lorsque le groupe a besoin de données. En général, une imagerie à plus haute résolution est nécessaire lorsqu'un navire doit éviter totalement les glaces, plutôt que de planifier la meilleure route à travers les glaces, ce qui requiert une plus grande couverture de zone. Compte tenu de la résolution plus élevée de la MCR, on s'attend à ce que le système soit utilisé, même si, encore une fois, pour la plupart des utilisations, la couverture constitue le paramètre clé.

On s'attend à ce que le rôle des mégadonnées augmente à l'avenir. Avec la hausse de la quantité de données recueillies, les moyens de stocker et d'utiliser efficacement les données seront remis en question. Le SCG note que la MCR apportera une charge accrue de données, tout comme l'expansion de la série Sentinel-1, et se demande quelles seront les meilleures façons d'intégrer ces nouvelles sources de données et d'extraire les informations. On s'attend à ce que l'automatisation joue un rôle plus important, tout comme le rôle de l'intelligence artificielle dans la capacité à fournir des analyses prédictives.

3.4.3.2 Solutions de rechange

Les entrevues avec les organisations sont axées sur la recherche et le développement de services opérationnels utilisant uniquement des ressources satellitaires. Toutefois, dans quelques cas spécifiques, les technologies terrestres suscitent un certain intérêt. Le SCG, par exemple, s'intéresse aux recherches du gouvernement américain sur l'utilisation des drones Global Hawk pour surveiller l'état des glaces. Les drones ont une durée de vol de 8 à 12 heures et peuvent transmettre des données en temps réel. Les drones sont également utilisés à des fins de reconnaissance, notamment pour surveiller le passage d'un navire ou d'une cargaison spécifique, ou une route particulière. Toutefois, cette activité (appuyée par Transports Canada) est considérée comme marginale et représente environ 200 à 300 heures de vol par année.

Il convient également de noter que pour l'observation de la Terre par satellite, le système ARGO, bien qu'il utilise la technologie satellitaire pour la transmission de données, constitue une solution de rechange à l'imagerie in situ. L'imagerie satellitaire est également utilisée pour recueillir fréquemment des données sur les variables environnementales. L'avantage du système ARGO est qu'il peut transmettre en temps réel. L'avantage du satellite est qu'il a une couverture mondiale. À cet égard, lorsque la recherche porte sur certains aspects de la surveillance de l'environnement et des changements climatiques, il ne s'agit pas d'utiliser un type de données plutôt qu'un autre, mais de recourir à des informations provenant de sources multiples.

Il existe des solutions de rechange au système ARGO, mais elles sont considérées comme étant trop coûteuses ou complémentaires. Les données, par exemple, peuvent être recueillies par les navires. Toutefois, le prix à payer pour la collecte de données à partir d'un seul navire est de 10 000 $, alors que le flotteur peut être utilisé de façon répétée. Comme il y a plus de 4 000 flotteurs ARGO en service, il serait 100 fois plus coûteux de recueillir des données à partir de navires. L'imagerie par satellite est une autre solution, mais ces systèmes sont considérés comme étant plutôt complémentaires. Si ARGO fournit un profil, il ne peut pas mesurer la température de surface. Un satellite peut recueillir des données à la surface, en particulier la température de surface de la mer, mais il ne peut pas établir de profil. Il y a aussi la question de la couverture : alors qu'ARGO peut offrir des données ponctuelles très précises, l'imagerie satellitaire a une résolution grossière, mais une couverture de zone plus large.

Enfotec a essayé d'utiliser la technologie des drones pour la collecte de données sur les glaces de mer, même si les coûts sont élevés. Les drones commandés à partir du navire peuvent fournir un point de vue au-delà de la ligne de visée, mais le rapport coûts-avantages n'est pas évident. Le coût du drone, plus celui du personnel à bord du navire qui exploite la solution autorise des gains importants par rapport à la solution satellitaire.

3.4.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future

Encore une fois, les budgets gouvernementaux demeurent un problème pour l'utilisation des données autres que les ensembles de données gratuites, et l'acquisition d'images commerciales est limitée. Le secteur s'appuie principalement sur des données gratuites, hormis quelques cas très précis.

COMMUNAUTÉS RURALES ET ÉLOIGNÉES

3.5 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES POUR LES COMMUNAUTÉS RURALES ET ÉLOIGNÉES

Le thème suivant est principalement axé sur l'utilisation des ressources spatiales pour la fourniture d'un accès Internet à large bande dans les communautés rurales ou isolées qui ne sont pas desservies, ou qui sont mal desservies par les technologies terrestres d'accès à large bande telles que les lignes fixes (câble, DSL, fibre) et sans-fil (3G/LTE, WiMAX).

Dans le contexte mondial, la connectivité Internet à large bande est de plus en plus considérée comme un droit universel fondamental, les gouvernements, les institutions internationales et le secteur privé ayant largement reconnu l'importance de combler le fossé numérique pour favoriser la croissance économique et l'inclusion sociale tout en répondant à la demande croissante des consommateurs[73]. D'un point de vue purement économique, la croissance de la pénétration de l'Internet à large bande a été positivement liée à une croissance économique (PIB) plus forte par la Banque mondiale et l'OCDE dans les pays développés et en développement. Elle contribue à améliorer la concurrence et la capacité de maintenir la croissance économique dans une économie mondiale de plus en plus numérique[74]. En outre, des études antérieures sur le marché américain ont établi un lien entre les investissements (capex) dans l'infrastructure à large bande par satellite et la création d'emplois, à raison d'environ un emploi par 70 000 $ en dépenses, y compris les effets multiplicateurs[75].

Malgré une nette augmentation de la base mondiale des particuliers utilisant l'Internet, qui a atteint près de 3,6 milliards de personnes en 2017 selon de récentes estimations de l'UIT, environ 4 milliards de personnes (soit 54 % de la population mondiale) n'y ont toujours pas accès[76]. Si plusieurs problèmes cruciaux tels que l'analphabétisme, le manque de contenu local et l'accessibilité financière constituent des obstacles majeurs à l'adoption d'Internet, l'absence d'une infrastructure à large bande adéquate reste un défi important. Par exemple, on estime que plus d'un milliard de personnes vivaient encore hors de portée d'un réseau 3G, ou plus puissant, à la mi-2017[77].

---

[73] « *The State of Broadband 2017: Broadband Catalyzing Sustainable Development* ». UNESCO/ITU Broadband Commission (2017). Consulté à l'adresse : https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/pol/S-POL-BROADBAND.18-2017-PDF-E.pdf

[74] « *Impact of Broadband on the Economy* » UIT (2012). Consulté à l'adresse : https://www.itu.int/ITU-D/treg/broadband/ITU-BB-Reports_Impact-of-Broadband-on-the-Economy.pdf. *Remarque :* L'Union internationale des télécommunications (UIT) a constaté qu'une augmentation de 10 % de la pénétration nationale du haut débit pourrait faire augmenter la croissance économique de 0,25 à 1,4 %.

[75] « *The Economic Impact of Broadband Investment* ». Crandall R.W., Singer H.J. (2010). Consulté à l'adresse : http://internetinnovation.org/files/special-reports/Economic_Impact_of_Broadband_Investment_Broadband_for_America_.pdf

[76] « *The State of Broadband 2017: Broadband Catalyzing Sustainable Development* ». ITU Broadband Commission (2017). Consulté à l'adresse : https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/pol/S-POL-BROADBAND.18-2017-PDF-E.pdf

[77] « *Global Mobile Trends 2017* » GSMA Intelligence (2017). Consulté à l'adresse : https://www.gsmaintelligence.com/research/?file=3df1b7d57b1e63a0cbc3d585feb82dc2&download

Si la grande majorité de ces populations « hors ligne » et « non couvertes » se trouvent dans des régions en développement, comme l'Afrique subsaharienne et l'Asie, il est important de noter que les populations non négligeables des pays développés sont soit non desservies, soit mal desservies par une infrastructure à large bande adéquate, notamment dans les communautés rurales. Par exemple, seulement 42 % des ménages ruraux des États-Unis avaient accès à des services à large bande fixes de 25/3 Mo/s (descendante/ascendante), la nouvelle définition standard de la Federal Communications Commission (FCC) pour le large bande, alors que seulement 6 % de ces ménages ruraux avaient le choix entre plusieurs concurrents[78].

La croissance rapide des habitudes de consommation de données, notamment sous l'impulsion d'applications gourmandes en bande passante telles que la vidéo en continu, a conduit des dizaines de pays dans le monde à réviser à la hausse leur définition des débits de données à large bande au cours des dernières années. Par exemple, bien qu'il n'existe pas de définition universelle de la capacité à large bande, les vitesses supérieures à 256 Ko/s sont considérées comme un seuil par l'UIT. Cela dit, les seuils/objectifs de vitesse de la liaison descendante à large bande sont maintenant de 25 Mo/s aux États-Unis (contre 4 Mo/s en 2015), de 25 Mo/s en Australie et d'au moins 30 Mo/s en Europe (à 100 % des ménages d'ici 2020)[79]. Bien que ces débits de données soient relativement faciles à atteindre en milieu urbain, les défis économiques liés à la mise à niveau et à la fourniture d'une infrastructure à large bande abordable dans les collectivités rurales entraînent des risques accrus d'élargissement de la fracture numérique.

Au cours des dernières décennies, les satellites de télécommunications ont fourni des services de connectivité voix et données à haut débit aux collectivités situées dans des régions éloignées ou à faible densité de population où les coûts de déploiement d'infrastructures de communication terrestres sont prohibitifs. Toutefois, les coûts élevés de la capacité et de l'équipement des satellites ont limité l'adoption plus large de la technologie pour les services à large bande. Alors que l'expansion rapide des réseaux mobiles à large bande a été le moteur de la croissance récente de la pénétration de l'Internet dans le monde, soutenue par l'adoption généralisée de téléphones intelligents bon marché, le rôle des satellites dans la réduction de la fracture numérique est appelé à augmenter. L'innovation technologique rapide qui se produit tout au long de la chaîne de valeur des satellites, conjuguée aux avantages inhérents aux satellites, promet une amélioration spectaculaire de la compétitivité et du coût de la large bande par satellite, ce qui renforcera son rôle de catalyseur essentiel d'un certain nombre de services essentiels tels que l'éducation, la sécurité des citoyens, les banques, le gouvernement électronique et la santé dans les zones rurales[80].

---

[78] « *Better together: Broadband deployment and broadband competition* » Sallet, J. (2017). Consulté à l'adresse : https://www.brookings.edu/blog/techtank/2017/03/15/better-together-broadband-deployment-and-broadband-competition/

[79] « *Broadband Situations in Rural and Remote Areas ».* UIT (2015). Consulté à l'adresse : https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Documents/RuralCommunications/Broadband_Situations_in_Rural_and_Remote_Areas_Full.pdf

[80] « *Working Group on Technologies in Space and the Upper-Atmosphere Identifying the potential of new communications technologies for sustainable development ».* UNESCO/ITU Broadband Commission (2017). Consulté à l'adresse : http://www.broadbandcommission.org/workinggroups/Pages/spacetechnology.aspx

3.5.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION

3.5.1.1 Communications par satellite

Les satellites constituent une option importante pour fournir des services à large bande à une grande variété d'emplacements et d'utilisateurs dans les régions rurales et éloignées du monde entier, comme les résidences, les entreprises, les opérateurs de télécommunications, les écoles, les hôpitaux et les bureaux gouvernementaux[81]. Les capacités à large bande par satellite sont généralement fournies par l'intermédiaire de deux architectures : les connexions fixes directes à domicile/sur place (également appelées « du dernier kilomètre ») et le modèle d'agrégation (« du kilomètre intermédiaire »), dans lequel les satellites fournissent aux opérateurs de réseaux fixes (fournisseurs de services Internet) et mobiles des connexions secondaires ou dorsales au réseau terrestre Internet de base[82].

Le segment des consommateurs est le plus grand utilisateur de la connectivité à large bande par satellite du « dernier kilomètre ». En 2016, on estimait à 2,3 millions le nombre de ménages abonnés aux services Internet à large bande par satellite, dont 1,9 million en Amérique du Nord. Alors que les ménages sont les utilisateurs finaux, les principaux fournisseurs de services à large bande par satellite comprennent les acteurs américains verticalement intégrés Viasat et Hughes, Xplornet au Canada, Satellite Solutions Worldwide en Europe et NBN en Australie. Ces fournisseurs de services, et d'autres à l'échelle mondiale, ont ensemble utilisé une capacité satellitaire estimée à 300 Gbit/s en 2016, en raison notamment de la croissance sans cesse croissante de la diffusion continue en vidéo associée à l'essor des services vidéo non linéaires et des habitudes de consommation.

En 2016, près de 300 000 sites d'entreprises (y compris des PME) et d'administrations publiques utilisaient des satellites à haut débit pour l'accès direct à large bande par l'intermédiaire d'équipements de microstations terriennes (VSAT), générant des besoins en capacité (utilisation) estimés à environ 50 Gbit/s au niveau mondial. Pour le segment des entreprises, les applications typiques comprennent les réseaux en nuage, les systèmes de planification des ressources de l'entreprise (PRE), les téléconférences et l'utilisation plus généralisée d'Internet. Dans le segment gouvernemental, les applications comprennent l'éducation (connectivité aux écoles, aux bibliothèques, etc.), la télémédecine, la téléjustice et une grande variété de services gouvernementaux électroniques offerts sur Internet. Plus d'un million de sites supplémentaires dans ce segment sont connectés par satellite, mais pour les applications qui ne sont pas à large bande, comme les guichets automatiques bancaires et la connectivité des points de vente au détail, seule une connectivité à faible débit de données est nécessaire.

En ce qui concerne la mise en place d'une infrastructure à large bande du « kilomètre intermédiaire », les opérateurs de réseaux cellulaires et autres réseaux de télécommunications utilisent le satellite pour étendre la portée des réseaux existants (liaison dorsale cellulaire), pour fournir des liaisons dorsales vers l'Internet mondial ou pour assurer la redondance des infrastructures terrestres. Ces solutions satellitaires sont utilisées dans plus de 20 000 sites, pour la plupart ruraux et/ou éloignés, à travers le monde, utilisant une capacité satellitaire estimée à 175 Gbit/s en 2016.

Bien que les cas d'utilisation susmentionnés de satellites pour relier des collectivités rurales ou éloignées impliquent généralement des acteurs commerciaux, les gouvernements jouent souvent un rôle direct ou indirect dans le financement ou la mise en œuvre de solutions à large bande par satellite. Par exemple, le

---

[81] « *The evolving role of satellite networks in rural and remote broadband access* ». OCDE (2017). Consulté à l'adresse : http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/the-evolving-role-of-satellite-networks-in-rural-and-remote-broadband-access_7610090d-en

[82] *Idem*

financement public peut prendre la forme de subventions aux utilisateurs finaux (consommateurs) pour les aider à compenser les coûts de l'équipement des clients ou à payer les coûts mensuels des services, car l'abordabilité des solutions à large bande par satellite demeure un « point faible » important et un obstacle à l'adoption. Étant donné que les coûts de fourniture des services de télécommunications sont plus élevés dans les zones rurales et éloignées en raison de la faible densité de population et des régions plus vastes à couvrir, certaines formes d'intervention gouvernementale sont nécessaires pour partager les coûts avec les entités commerciales dans un cadre public[83].

Afin d'illustrer concrètement l'étendue de l'écosystème du haut débit par satellite à l'échelle mondiale, la section suivante fournit des exemples nationaux et régionaux d'activités actuelles ou potentielles d'utilisation du satellite pour la fourniture de services à haut débit;

- Le marché américain compte plus de 1,7 million d'abonnés à la large bande par satellite. Même si le marché peut être considéré comme commercialement viable, le haut débit par satellite a bénéficié de divers mécanismes de financement gouvernementaux au cours des dernières années, notamment la *Recovery and Reinvestment Act* (2009) et, plus récemment, le programme Connect America Fund, pour promouvoir la disponibilité de services de télécommunications avancés à des taux raisonnables pour le public américain.
- Le gouvernement australien a investi plus de 1,4 milliard de dollars dans deux satellites à haut débit, Sky Muster-1 et Sky Muster-2, ainsi que dans les infrastructures terrestres connexes (terminaux, passerelles) dans le cadre de son réseau national à large bande (NBN). Ces satellites, conçus pour offrir des débits de données universels minimaux de 25 Mo/s, offrent une capacité combinée de 135 Go/s et devraient desservir 220 000 ménages ruraux d'ici 2020. Le haut débit par satellite a été retenu comme technologie optimale pour connecter une partie des 7 % de la population vivant dans des zones trop éloignées ou rurales pour justifier un investissement dans les technologies terrestres.
- Au Brésil, l'utilisation des satellites pour l'accès à large bande a connu une croissance rapide. Embratel utilise une charge utile SHD de 25 Go/s en bande Ka sur son satellite Star One D1 pour étendre la couverture du réseau rural 3G de sa filiale Claro. Hughes a investi des capitaux considérables dans des contrats de location à long terme de capacité SHD en bande Ka à bord des satellites Telstar-19V (31 Go/s) et Eutelsat 65WA (24 Go/s) de Télésat pour offrir des services aux consommateurs dans les régions du pays non desservies ou mal desservies par la large bande terrestre, atteignant déjà 60 000 abonnés depuis 2016[84]. Parallèlement, le gouvernement brésilien a investi près de $1 milliard de dollars dans un système SHD en bande Ka de 57 Go/s appelé SGDC, à l'appui du plan national de large bande (PNBL).
- En Thaïlande, plus de 26 000 écoles bénéficient du soutien d'IPSTAR, le système SHD en bande Ku de Thaicom, qui permet à plus de 2 000 000 d'étudiants d'accéder à du matériel pédagogique en

[83] « *Broadband Situations in Rural and Remote Areas* ». UIT (2015). Consulté à l'adresse : https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Documents/RuralCommunications/Broadband_Situations_in_Rural_and_Remote_Areas_Full.pdf

[84] *« Brazil's Satellite Operators Protest Telebras-Viasat Deal, Demand Contract Transparency ».* de Selding, P.B., SpaceIntel Report (2018). Consulté à l'adresse : https://www.spaceintelreport.com/brazils-satellite-operators-protest-telebras-viasat-deal-demand-contract-transparency/

ligne et à des applications IP telles que l'apprentissage interactif à distance par des connexions Internet haut débit (5/4 Mo/s)[85].

- Le gouvernement argentin a récemment approuvé la construction du système SHD en bande Ka d'Arsat-3 dans le cadre d'un partenariat public-privé. Offrant une capacité de 40 Go/s, le satellite de 250 millions de dollars appuiera le plan à large bande du pays avec sa capacité à desservir jusqu'à 300 000 ménages à travers le pays à des vitesses de 25 Mo/s[86].
- L'initiative nationale de connectivité du Mexique « Mexico Conectado » offre un accès à large bande par satellite gratuit dans environ 30 000 sites (sur plus de 100 000), comme des écoles, des centres de santé, des bibliothèques, des centres communautaires, des parcs et des bâtiments gouvernementaux[87]. En raison de l'utilisation élevée du programme, le gouvernement a récemment investi dans une nouvelle capacité en bande Ka, augmentant la vitesse de téléchargement à 6 Mo/s dans 12 500 sites[88].

L'adoption de satellites à haut débit (SHD) a permis d'offrir aux utilisateurs finaux une capacité et des débits de données nettement supérieurs à un coût par bit réduit par rapport aux satellites ordinaires. Les progrès de la technologie d'émission et de réception aux deux extrémités de la voie de communication – y compris les composants RF, les techniques de communication numérique, l'efficacité spectrale et l'amélioration des terminaux – permettent aux opérateurs de systèmes de faire encore plus avec leurs ressources en entrée[89]. Par exemple, alors que les satellites ordinaires ont toujours été capables de fournir une capacité globale d'environ 2 à 3 Go/s, la plus récente génération de systèmes SHD actifs offre maintenant une capacité bien supérieure à 200 Go/s, tandis que les systèmes SHD dont le lancement est prévu dans les années à venir offriront une capacité de l'ordre de 500 à 1 000 Go/s. Cette augmentation massive de la capacité, essentielle à la mise en place d'applications à large bande, s'est accompagnée d'une baisse asymétrique des coûts globaux des générations successives de satellites. Cette confluence de facteurs améliore considérablement la proposition de valeur grâce à des débits de données et à des plafonds de téléchargement plus élevés, ainsi qu'à l'abordabilité des solutions par satellite.

Même si ces satellites à haut débit n'offrent pas encore une couverture mondiale redondante, en partie en raison de leur adoption relativement récente, la couverture des systèmes SHD géostationnaires devrait être omniprésente au cours des cinq prochaines années. En outre, plusieurs constellations non géostationnaires à haut débit comprenant chacune des centaines de satellites sont en cours de planification, notamment celles de OneWeb, Télésat et SpaceX. Ces constellations offriront toutes une couverture mondiale omniprésente, y compris aux pôles, ainsi qu'une latence nettement plus faible (seulement 50 ms contre 500 à 600 ms en orbite géostationnaire), le tout à un coût par unité de capacité concurrentiel.

---

[85] « *IPSTAR Government: Education and Distance Learning* » Thaicom (2014). Consulté à l'adresse : http://www.ipstar.com/en/sol_gov_edu.html

[86] « El Gobierno busca socio para construir el Arsat 3 pero pone condiciones » Garabetyan, E., Perfil (2017). Consulté à l'adresse : http://www.perfil.com/ciencia/el-gobierno-busca-socio-para-construir-el-arsat-3-pero-pone-condiciones.phtml

[87] « *Mexique Conectado Infografias* » Gouvernement du Mexique (2018). Consulté à l'adresse : http://www.mexicoconectado.gob.mx/?page_id=11201

[88] « *Mexico Conectado Project reaches 20 million Users a Month* ». Telecompaper (2018). Consulté à l'adresse : https://www.telecompaper.com/news/mexico-conectado-project-reaches-20-mln-users-a-month--1236866

[89] « *Working Group on Technologies in Space and the Upper-Atmosphere Identifying the potential of new communications technologies for sustainable development* ». UNESCO/ITU Broadband Commission (2017). Consulté à l'adresse : http://www.broadbandcommission.org/workinggroups/Pages/spacetechnology.aspx

3.5.1.2 Imagerie (observation de la Terre)

La connectivité rurale est au cœur des communications par satellite, mais l'OT joue un rôle de soutien dans le déploiement des solutions terrestres. L'utilisation de l'imagerie satellitaire, en particulier des modèles numériques tridimensionnels de terrain/d'élévation (DTM/DEM), permet de trouver les meilleurs itinéraires logistiques pour planifier la pose des câbles, la position des câbles aériens et le positionnement des antennes. L'utilisation de l'OT de cette façon est plus répandue dans les régions rurales et éloignées où les solutions cartographiques sont limitées.

3.5.1.3 Navigation par satellite

Même si la navigation par satellite est utilisée par les populations, les industries et les gouvernements dans les collectivités éloignées, la portée de ce sujet est plus étroitement définie comme ayant trait aux questions de connectivité Internet à large bande. Ainsi, les avantages de la navigation par satellite pour ces intervenants sont évalués de façon plus générale dans d'autres domaines.

3.5.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LES COLLECTIVITÉS RURALES ET ÉLOIGNÉES DU CANADA

La présente section porte sur les avantages de l'utilisation de l'espace pour les collectivités rurales et éloignées. Essentiellement, ces avantages portent sur le rôle des communications par satellite et, dans le cadre de cette technologie, l'application de la connectivité à large bande par satellite. Dans de nombreuses communautés rurales et éloignées, les solutions de connectivité terrestre telles que la DSL, le câble ou la fibre optique sont souvent inexistantes en raison de la faible densité de population et des coûts prohibitifs associés au déploiement des réseaux. Ainsi, les satellites sont souvent utilisés comme seule source de connectivité. Le fait de pouvoir se connecter à Internet permet une interaction sociale et un soutien aux entreprises, mais peut aussi être un outil pour fournir des conseils médicaux ou accéder à des plateformes d'éducation. Le tableau résume les principaux secteurs de retombées mis en évidence par notre recherche au cours de la phase de consultation.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES SÉLECTIFS DÉTERMINÉS

TYPE	AVANTAGE	
QUANTITATIF	CONNECTER LES MÉNAGES ET LES COLLECTIVITÉS	• Plus de 200 000 ménages situés dans les régions rurales et éloignées du Canada sont connectés à Internet par satellite. Dans le Nord du Canada, 77 communautés autochtones dépendent uniquement des liaisons par satellite, ce qui est essentiel pour connecter les ménages, les écoles, les centres médicaux et les banques à Internet et à d'autres parties du Canada.
	OFFRIR DES SERVICES DE TÉLÉMÉDECINE	• Grâce aux solutions de télémédecine et de cybersanté à distance, on estime que neuf collectivités du Nord ont économisé 600 000 dollars en 2017, car des situations ont pu être résolues à distance, sans déplacement chez le médecin ou déplacement du médecin. Sans compter la tranquillité d'esprit et du bien-être que cela apporte aux patients.
	SOUTENIR L'ÉCONOMIE CANADIENNE	• Ajout de 2,2 milliards de dollars au PIB du Canada de 2008 à 2017 par l'intermédiaire des ménages ayant accès à des services à large bande par satellite au cours des dix dernières années. Possibilité d'ajouter un autre 2,7 milliards de dollars au cours de la prochaine décennie en augmentant la pénétration de la large bande, ce qui permettra de rehausser la productivité, l'efficacité des entreprises, etc.

QUALITATIF	SOUTENIR LES ACTIVITÉS DE SECOURS À L'ÉCHELLE MONDIALE	• Les liaisons par satellite permettent aux médecins canadiens de fournir un soutien en télémédecine à leurs collègues actifs dans des zones de conflit comme la Syrie.
	ATTEINDRE LES OBJECTIFS STRATÉGIQUES EN MATIÈRE DE LARGE BANDE	• Les nouveaux systèmes et services par satellite améliorent considérablement la qualité du service, ce qui permet au gouvernement d'atteindre son nouvel objectif universel en matière de large bande. De nouveaux investissements dans les satellites devraient permettre de doubler la vitesse de téléchargement du service à large bande pour 200 000 ménages au cours des cinq prochaines années.
	SOUTENIR L'EMPLOI DANS LES ZONES RURALES	• L'amélioration des services à large bande permet de travailler à distance et d'avoir des bureaux à domicile. Le service réduit le stress individuel au travail et augmente la souplesse. Il permet une meilleure connectivité entre les personnes et les bureaux éloignés, etc.
	APPUYER L'ÉDUCATION	• L'apprentissage en ligne par satellite a permis à trois élèves d'obtenir leur diplôme d'études secondaires à Ulukhaktok (Territoires du Nord-Ouest) et d'être acceptés à l'université pour la première fois.

3.5.2.1 Combler le fossé numérique entre les Canadiens ruraux et urbains

L'expression « fossé numérique » est utilisée pour décrire l'écart entre les personnes qui ont accès à la technologie de l'information grâce à la disponibilité et à l'abordabilité des services et celles qui n'y ont pas accès. La politique du gouvernement canadien encourage le déploiement de réseaux à large bande dans les régions rurales et régionales, de sorte qu'un service de base d'au moins 5 Mo/s soit disponible presque partout. Le Rapport de surveillance des communications 2017 du CRTC souligne que les réseaux satellitaires sont essentiels pour assurer une couverture nationale et combler les lacunes laissées par les réseaux terrestres.

L'importance cruciale du satellite pour la connectivité Internet est particulièrement évidente dans les collectivités du Nord. Il y a actuellement **77 collectivités autochtones dans le Nord du Canada qui dépendent uniquement des liaisons par satellite pour leurs besoins de communication**[90]**.** Dans ces régions, il n'y a pas d'infrastructure de communication de rechange. Par conséquent, le satellite est le seul moyen pour ces collectivités d'accéder aux actualités et à l'information, et un manque d'accès causerait des préjudices critiques pour l'inclusion sociale. De plus, il constitue un lien de communication essentiel avec les autres collectivités du reste du Canada (qu'elles soient urbaines ou rurales).

Plusieurs fonds gouvernementaux ont été mis sur pied aux niveaux fédéral et provincial pour atteindre le nouvel objectif universel de large bande à vitesse de téléchargement de 50 Mo/s. Dans le cadre du fonds Brancher pour innover, Northwestel a reçu 50 millions de dollars pour construire de nouvelles stations terrestres de satellite et de nouveaux concentrateurs de réseau pour améliorer la prestation des services à large bande dans 25 collectivités du Nunavut (projet Tarmarmik Nunaliit). Après le lancement réussi du satellite Telstar 19 Vantage de Télésat, prévu pour le deuxième semestre de 2018, Northwestel a indiqué que la mise à niveau de l'infrastructure porterait la vitesse à 15 Mo/s pour chaque collectivité, ce qui est trois fois plus que le réseau actuel en bande C. En outre, il devrait offrir un meilleur accès aux écoles et aux centres de santé. Enfin, le projet de satellite favorisera l'inclusion financière, puisque 22 des 25 collectivités du Nunavut ne sont pas desservies par des banques physiques, ce qui fait des services financiers en ligne un véhicule sous-estimé pour l'inclusion financière et ses avantages connexes (réduction de la pauvreté, épargne accrue, accès au crédit, etc.).

---

[90] « *Indu committee meeting* » Chambre des Communes (2017)
Consulté à l'adresse : http://www.ourcommons.ca/DocumentViewer/en/42-1/INDU/meeting-85/evidence

On ne saurait sous-estimer les avantages économiques de cette connectivité améliorée par satellite pour le Nord canadien, d'autant plus que la croissance de l'emploi dans le reste du Canada est de plus en plus liée aux industries à forte intensité de connaissances et de technologie[91].

Source : Northwestel, projet Tamarmik Nunaliit

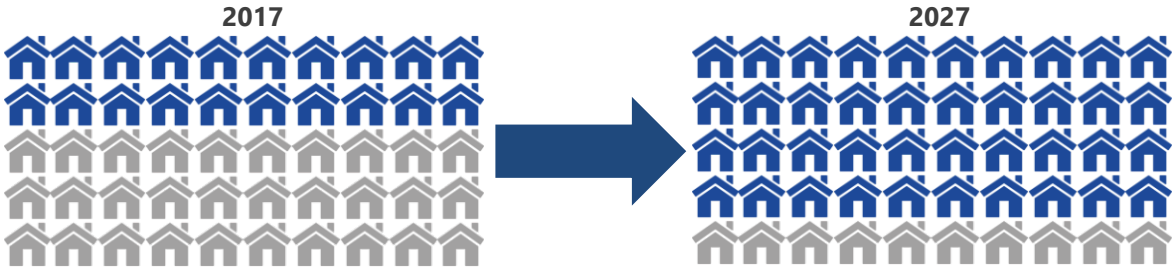
La connectivité à large bande par satellite n'est pas limitée aux collectivités du Nord, mais est aussi largement utilisée dans les régions rurales du Canada. On **estime à 200 000 le nombre de ménages canadiens abonnés à des services de radiodiffusion directe par satellite à large bande**, principalement par l'entremise du fournisseur de services à large bande rural Xplornet. Les évaluations économiques réalisées par Xplornet (illustrées dans le graphique ci-dessous) montrent que le satellite est la solution la plus rentable lorsque la densité des ménages est inférieure à 5 ménages par kilomètre carré. Au Canada, cela équivaut à un marché important de 500 000 ménages, soit 1,1 million de personnes.

La mise en service de nouveaux systèmes à haut débit par satellite (SHD) (y compris de nouvelles constellations) devrait permettre de remédier aux futures pénuries de capacité. Ces nouveaux déploiements de réseaux satellitaires devraient stimuler la pénétration des services de large bande par satellite au sein de son marché visé. Ainsi, le **nombre total de ménages ruraux connectés par satellite devrait passer à plus de 400 000 ménages** au cours de la prochaine décennie, soit une pénétration de 80 % du marché visé.

[91] https://www.ic.gc.ca/eic/site/eas-aes.nsf/vwapj/wp14e.pdf/$file/wp14e.pdf

PÉNÉTRATION DES FOYERS CONNECTÉS PAR SATELLITE

1 MAISON = 10 000 MÉNAGES



Les plus récents investissements dans la nouvelle technologie satellitaire ont déjà commencé à se traduire par une amélioration des services offerts aux Canadiens des régions rurales. Par suite du lancement de deux nouveaux satellites SHD, Echostar 19 et Viasat 2, Xplornet a augmenté son débit de données en liaison descendante de 5 à 10 Mo/s à 25 Mo/s. L'entreprise prévoit atteindre 100 Mo/s, soit le double de la vitesse prévue dans le mandat du CRTC, après le lancement de la prochaine génération de systèmes, prévu provisoirement vers 2021.

ÉVOLUTION DES PLANS DE SERVICES HAUT DÉBIT PAR SATELLITE

	2015	2018	2021
VITESSE (MO/S)	5	25	100
DONNÉES MENSUELLES ATTRIBUÉES (GO)	25	100	ILLIMITÉES
PRIX ($)	79,99	99,99	79,99*

**Niveau de prix attendu*

3.5.2.2 Soutenir l'économie canadienne

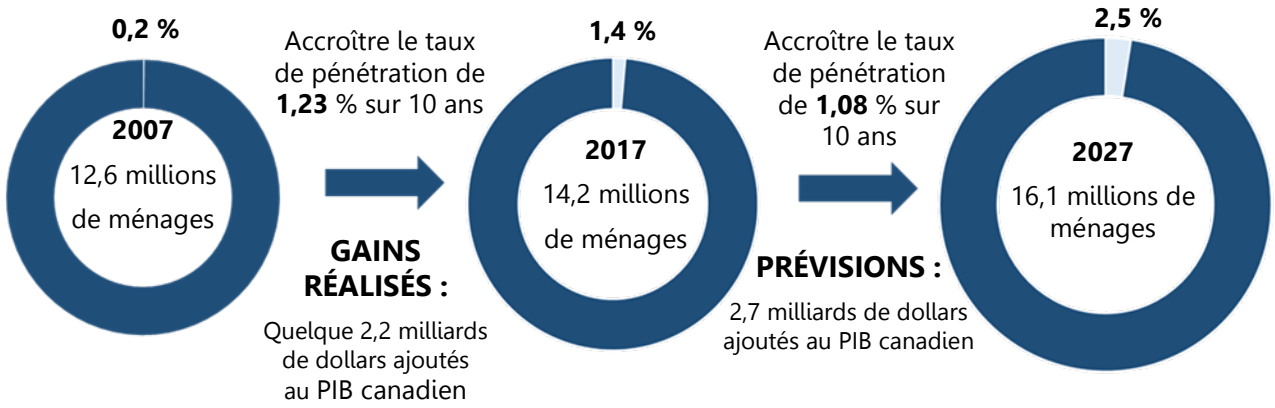
L'augmentation de la pénétration du haut débit a été positivement liée à la croissance du PIB. De multiples études économiques ont démontré que chaque augmentation de 10 % de la pénétration du haut débit se traduisait par une croissance économique de 1 % à 1,5 % dans les pays développés[92]. Ces gains économiques découlent de l'augmentation de la productivité, de la baisse des coûts, de nouvelles possibilités économiques, de la création d'emplois, de l'innovation et de l'accroissement du commerce et des exportations, rendus possibles par la connectivité. Au Canada, le lancement de nouveaux systèmes SHD et de nouveaux forfaits de services a permis de faire passer le nombre d'abonnés aux services à large bande par satellite de 22 500 en 2007 à environ 200 000 aujourd'hui. D'après les statistiques des ménages, cela correspond à une augmentation de 1,23 % de la pénétration du haut débit au cours des dix dernières années. Si l'on applique le coefficient multiplicateur pour les pays développés (par exemple, une augmentation de 1,19 % du PIB pour une augmentation de 10 points de pourcentage de la pénétration du haut débit fixe), cela correspond à une augmentation de **2,2 milliards de dollars du PIB découlant de l'utilisation du haut débit par satellite au cours des dix dernières années.**

Comme nous l'avons souligné dans la section précédente, le nombre total d'abonnés à la large bande par satellite devrait doubler pour atteindre 400 000 en 2027. En nous fondant sur la croissance passée, nous supposons que le nombre de ménages augmentera de 1,2 % par an pour atteindre près de 16,1 millions en 2027. Ainsi, la pénétration des services à large bande par satellite devrait atteindre 2,5 % des ménages canadiens d'ici 2027, soit une augmentation nette de 1,08 %. **Cela correspondrait à une augmentation de 2,7 milliards de dollars du PIB d'ici 2027.**

PÉNÉTRATION DU HAUT DÉBIT PAR SATELLITE ET CONTRIBUTION À LA CROISSANCE DU PIB

AVANTAGES DE LA PÉNÉTRATION DU SATELLITE DANS LES FOYERS,

SCÉNARIOS PASSÉS (0,2 %), ACTUELS (1,4 %) ET PRÉVISIONNELS (2,5 %)



Le haut débit par satellite devrait non seulement connecter un plus grand nombre de ménages, mais aussi améliorer sensiblement la qualité du service au cours de la prochaine décennie. Des études économiques

[92]Dans une étude réalisée en 2009, sur 120 pays entre 1980 et 2006, Qiang et coll. ont noté une augmentation de 1,2 % du PIB pour 10 % d'augmentation de la pénétration du haut débit fixe. Dans une étude similaire menée dans 25 pays de l'OCDE entre 1996 et 2007, l'augmentation notée se situait entre 0,9 et 1,5 %.

(par exemple Ericsson 2013) ont montré que le doublement de la vitesse du haut débit ajoute 0,3 % à la croissance du PIB[93]. Comme nous l'avons souligné dans la section précédente, les nouveaux investissements dans les satellites devraient permettre d'augmenter la vitesse de téléchargement à large bande par satellite à l'avenir, qui pourrait atteindre 100 Mo/s selon Xplornet. Des vitesses plus élevées améliorent principalement la productivité, car plus d'informations peuvent être transférées et stockées en ligne, ce qui fait gagner du temps aux travailleurs. De plus, il est possible de distribuer des quantités plus importantes d'informations de meilleure qualité qu'auparavant, ce qui peut ouvrir de nouvelles possibilités créatives et commerciales. Enfin, des vitesses Internet plus élevées peuvent également créer de nouveaux emplois, soit directement liés à la modernisation des infrastructures (fabrication de nouveaux satellites), soit faciliter de nouveaux emplois indirects (voir la section suivante).

3.5.2.3 Soutenir la croissance de l'emploi au Canada

La création d'emplois peut être induite directement ou indirectement par la création de nouveaux réseaux à large bande par satellite. Premièrement, elle peut créer des emplois directement liés à la conception, à la construction et à l'installation de réseaux de satellites. De plus, elle permet de créer des centaines d'emplois à long terme pour des techniciens du service à la clientèle et du soutien technique, souvent à l'extérieur des zones urbaines. Par exemple, le fournisseur rural de services Internet Xplornet a ouvert en 2017 un nouveau centre de contact à Cornwall, en Ontario, qui emploie plus de 120 personnes. L'entreprise emploie actuellement plus de 800 personnes dans tout le Canada. Xplornet a son siège social dans la petite ville de Woodstock au Nouveau-Brunswick (5 300 habitants) et a été élu à plusieurs reprises meilleur employeur au Canada atlantique[94]. Malheureusement, le nombre total d'emplois directement liés à la fourniture de services à large bande par satellite n'a pu être calculé à partir des sources publiques disponibles. Des études antérieures sur le marché américain ont établi un lien entre les investissements dans l'infrastructure à large bande par satellite et la création d'emplois, à raison d'environ un emploi par 70 000 $ en dépenses, y compris les effets multiplicateurs. Comme Xplornet a investi plus d'un milliard de dollars canadiens en capacité satellitaire au cours de la dernière décennie, cela correspondrait environ à 14 000 emplois cumulatifs (directs, indirects, induits) créés pendant cette période.

Le positionnement du Canada au sein de l'industrie des satellites offre au gouvernement et aux entreprises la possibilité d'investir dans des technologies satellitaires « maison » qui créent des emplois tout en augmentant la connectivité dans tout le Canada. Avec de multiples investissements gouvernementaux représentant près de 11,5 millions de dollars, Advantech Satellite Networks sera en mesure de développer de nouveaux terminaux et concentrateurs au sol qui permettront un accès à haut débit dans les zones rurales et éloignées dans le cadre d'un projet de 30 millions de dollars. Cet investissement remboursable contribuera à la création de plus de 95 emplois au Québec[95].

---

[93] « *New study quantifies the impact of broadband speed on GDP* » Ericsson (2011) Consulté à l'adresse suivante : https://www.ericsson.com/en/press-releases/2011/9/new-study-quantifies-the-impact-of-broadband-speed-on-gdp

[94] « *Xplornet celebrates official opening of its new regional office in Cornwall, Ontario* » Cision, (2017) Consulté à l'adresse : https://www.newswire.ca/news-releases/xplornet-celebrates-official-opening-of-its-new-regional-office-in-cornwall-ontario-650618293.html

[95] « *Le gouvernement investit dans les technologies de communications spatiales et satellitaires afin d'améliorer l'accès aux services à large bande dans les régions rurales et éloignées* » Cision (2018) Consulté à l'adresse : https://www.newswire.ca/fr/news-releases/le-gouvernement-investit-dans-les-technologies-de-communications-spati

Le haut débit peut également offrir des possibilités d'emploi égales aux personnes vivant en milieu rural, étant donné que les demandes d'emploi sont de plus en plus souvent traitées en ligne. Northwestel précise que de nombreux habitants de collectivités nordiques n'ont pas été en mesure de télécharger leur curriculum vitae pour postuler un emploi, soit en raison d'une infrastructure à large bande insuffisante ou d'un manque d'infrastructure.

Enfin, le haut débit peut soutenir l'innovation sur le lieu de travail grâce à des pratiques de travail flexibles telles que le travail à domicile (télétravail). Un nombre non déterminé d'employés travaillant à domicile dépendent des satellites pour communiquer avec le bureau. Le télétravail permet non seulement de réduire les coûts (p. ex. locaux à bureaux, transports), mais aussi d'offrir des solutions de rechange à la migration urbaine.

3.5.2.4 Améliorer l'éducation dans les collectivités nordiques

La large bande permet d'offrir des services d'éducation ou de télé-éducation aux communautés rurales et éloignées. Un élève des régions rurales peut maintenant avoir accès à la documentation et aux enseignants grâce à une connectivité par satellite qu'il n'aurait pas pu avoir autrement. Cela signifie également que les individus, en particulier les élèves, peuvent apprendre sans avoir besoin de déménager vers les centres urbains.

Soutenir le télé-enseignement et l'apprentissage en ligne

Offrir des solutions en matière d'éducation aux collectivités éloignées du Nord

Offrir une éducation de qualité est un défi dans les régions nordiques du Canada en raison de l'éloignement. De multiples recherches montrent l'écart entre les normes scolaires des territoires et celles du reste du Canada. En 2016, les deux tiers des élèves de 12e année du Nunavut qui ont fait les examens du diplôme normalisé de l'Alberta ne les ont pas réussis. Beaucoup d'élèves veulent avoir l'occasion d'en apprendre davantage, mais comme leur région ne dispose pas des installations nécessaires, certains enfants parcourent plus de 500 km pour aller à l'école.

L'apprentissage en ligne offre une solution à ce problème. En 2010, le Beaufort Delta Education Council a lancé un projet pilote qui a permis à un élève de Fort McPherson de suivre des cours par téléconférence à l'école secondaire East Three d'Inuvik. Ce programme, maintenant appelé Programme d'apprentissage à distance dans le Nord, relie par satellite un enseignant d'Inuvik aux élèves du territoire. **Le programme d'apprentissage en ligne est maintenant offert ans sept autres collectivités – Tuktoyaktuk, Aklavik, Fort McPherson, Fort Liard, Fort Resolution, Fort Good Hope Ulukhaktok, à un total de 35 étudiants. Grâce à la connectivité par satellite à large bande, trois étudiants ont été acceptés à l'université après avoir obtenu leur diplôme d'études secondaires à Ulukhaktok dans les Territoires du Nord-Ouest; une première dans l'histoire de cette collectivité**.

ales-et-satellitaires-afin-dameliorer-lacces-aux-services-a-large-bande-dans-les-regions-rurales-et-eloignees-679403273.html

3.5.2.5 Une meilleure santé grâce à la télémédecine

La cybersanté aide les Canadiens à avoir accès à des soins de santé de meilleure qualité plus efficacement, grâce à des solutions et services numériques. Ce domaine devrait connaître une croissance rapide au cours des prochaines années, alimenté par l'adoption généralisée de l'accès à large bande et le vieillissement rapide de la population.

Pour les résidents des régions rurales et éloignées du Canada, comme les régions nordiques, la télémédecine facilite l'accès aux soins médicaux et donne accès à des soins qui ne seraient pas disponibles autrement et, ultimement, améliore la santé des membres de ces collectivités. Santé Canada dispose d'un programme spécifique appelé Programme d'infostructure de la cybersanté (PIC) qui met l'accent sur la modernisation et l'amélioration des services de soins de santé dans les communautés des Premières nations[96]. Le programme fournit des fonds pour assurer la connectivité des collectivités des Premières nations qui utilisent la télésanté. **Neuf collectivités des Premières nations qui dépendent du satellite ont reçu du financement dans le cadre du PIC.**

Ultimement, la télémédecine et la connectivité à large bande sous-jacente permettent d'accroître l'accès aux services, ce qui améliore la santé des Canadiens tout en réduisant les temps d'attente et les coûts du système de santé pour le gouvernement. Le satellite joue un rôle clé dans l'offre de télémédecine et dans les résultats positifs pour la santé, notamment dans les zones rurales. Par exemple, la région du Nord du **Québec (y compris le Nunavik), qui dépend fortement de la technologie satellitaire pour la connectivité Internet, affiche des taux d'adoption de la télémédecine (pour 10 000 habitants) au moins 15 fois plus élevés que ceux de la région urbaine de Montréal selon une étude réalisée en 2015 par le Réseau universitaire intégré de santé (RUIS) de l'Université McGill[97].**

Les séances de télésanté peuvent permettre d'économiser des frais de déplacement importants qui auraient été engagés si le patient avait réellement voyagé au lieu d'assister à une séance de télésanté. L'analyse de l'évitement des coûts dans quatre provinces montre que 10 300 séances de télésanté ont permis d'économiser 11,7 millions de dollars en frais de déplacement (grâce à toutes les technologies d'accès). D'après ces indicateurs, **les économies réalisées dans les neuf collectivités des Premières nations qui dépendent du satellite sont estimées à au moins 600 000 $ par année.**

Pour l'avenir, on peut s'attendre à ce que les mesures globales de réduction des coûts identifiées s'additionnent au cours des prochaines décennies en raison d'une confluence de facteurs, notamment l'adoption croissante des services de télémédecine dans les régions rurales, comme en témoigne l'étude de McGill sur la télémédecine, le vieillissement rapide de la population et la qualité et la disponibilité accrues des services large bande par satellite.

Non seulement la télésanté améliore la vie des Canadiens, mais elle a aussi un impact important sur les efforts internationaux de secours humanitaire. Par exemple, des médecins basés au Canada ont été en mesure d'appuyer les efforts de secours en Syrie. Grâce à la connexion vidéo par satellite, les médecins peuvent consulter d'autres médecins et obtenir de l'aide pendant les interventions chirurgicales. Le

---

[96] « *Évaluation du Programme d'infostructure de la cybersanté 2011-2012 à 2015-2016* » Gouvernement du Canada (2017) Consulté à l'adresse : https://www.canada.ca/fr/sante-canada/organisation/transparence/rapports-gestion/evaluation/programme-infostructure-cybersante-premieres-nations-inuits-sante-canada-2010-2011-2014- 2015.html

[97] « *Indicateurs de performance en télésanté ».* Le Centre virtuel de santé et de services Sociaux du RUIS McGill (2015). Consulté à l'adresse : http://telesantemcgill.ca/tswp/wp-content/uploads/2015/05/IndPerf_Q3_2014_2015.pdf

Dr Ahmad Chaker, de l'Ontario, est l'un des nombreux médecins ayant participé, sur une base volontaire, au traitement de cas de blessures à la tête et d'autres blessures liées à un traumatisme[98].

3.5.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA

3.5.3.1 Solutions par satellite

Les services à large bande par satellite sont offerts principalement par quelques acteurs clés. Xplornet est le plus grand fournisseur d'accès Internet en milieu rural utilisant des réseaux sans fil fixes et par satellite. Pour ses activités satellitaires, la société loue la pleine capacité des satellites Echostar-17, Echostar-19, Viasat-1 et Viasat-2 au-dessus du Canada. Elle loue également de Télésat une partie de la capacité en bande Ka d'Anik-F2. L'entreprise regroupe la capacité, la connectivité et l'équipement en un seul service et offre une connectivité à large bande par satellite directement aux ménages ruraux. SSi Micro offre également des services Internet aux communautés nordiques (Nunavut et régions environnantes). En tant que fournisseur de dorsale satellite utilisant la fibre optique et les hyperfréquences pour l'accès au dernier kilomètre, la compagnie loue de la capacité en bande C d'Anik-F2 et Anik-F3 (satellites de Télésat). Selon SSI, l'avantage de la bande C est qu'elle couvre toutes les régions du Nord avec un seul faisceau, ce qui permet de faire des appels téléphoniques sans sauts et réduit la latence.

La disponibilité croissante des satellites à haut débit (SHD) a considérablement amélioré la disponibilité, le coût et la qualité de la large bande par satellite au Canada. Néanmoins, une pénurie de capacité satellitaire abordable est encore souvent soulignée par les collectivités situées au nord du 60e parallèle.

On s'attend à ce qu'une nouvelle génération de systèmes SHD réduise davantage les coûts et augmente le débit disponible au Canada, y compris dans le Nord. Télésat a annoncé ses plans pour un nouveau satellite, Telstar-20V, qui pourrait ajouter 40 Go/s de capacité supplémentaire dans le nord du Canada. De plus, la constellation de près de 120 satellites à large bande en orbite basse à haut débit de Télésat, dont le lancement est prévu pour 2021, offrira une couverture à faible latence de tout le Canada, avec une forte couverture des latitudes nordiques par une orbite polaire. La constellation de plus de 700 satellites proposée par OneWeb fournira également une couverture globale du Canada, pays visé comme l'un des premiers marchés de l'opérateur dès son entrée en service limitée prévue en 2020.

Le haut débit par satellite devrait non seulement connecter un plus grand nombre de ménages, mais aussi améliorer sensiblement la qualité du service au cours de la prochaine décennie. La mise en service de nouveaux systèmes SDH devrait permettre de remédier à d'autres pénuries en matière de capacité. De nouveaux projets de constellation (OneWeb, Télésat et SpaceX) seront lancés, en plus des satellites supplémentaires de SES (SES-17), Télésat (Telstar 19V), Hughes (Echostar-24) et Viasat (Viasat-3), afin d'offrir des services haut débit uniformes aux consommateurs des régions rurales et éloignées.

3.5.3.2 Solutions de rechange

Les technologies utilisées présentement pour les solutions par satellite et fournir une connectivité à large bande sont la fibre optique, la ligne d'accès numérique (DSL), le câble et la connectivité sans fil. Ces solutions sont largement déployées en milieu urbain et périurbain, et sont partiellement disponibles en milieu rural. Les indicateurs des télécommunications mondiales de l'UIT pour 2017 montrent que le câble

---

[98] « *Telemedicine connects Canadian docs to Syrians in bombed hospitals* » CBC (2016) Consulté à l'adresse : http://www.cbc.ca/news/canada/windsor/telemedicine-canadian-syrian-doctors-1.3455895

et la DSL sont toujours les réseaux terrestres dominants au Canada, reliant plus de 7 millions d'abonnés pour le câble et 4,5 millions pour la DSL. La fibre optique permet à l'utilisateur final d'avoir les débits de données les plus élevés (≥ 1 Go/s), avec peu ou pas de dégradation sur de longues distances. Les inconvénients de la fibre sont les coûts de construction, qui peuvent limiter les déploiements dans les zones à faible densité de ménages ou d'entreprises, et sa vulnérabilité aux coupures si elle n'est pas correctement installée. Néanmoins, la pénétration de la fibre optique a augmenté rapidement au cours des dernières années, surtout au détriment du câble et de la DSL, ayant doublé par rapport aux niveaux de 2015 pour atteindre plus de 1,3 million d'abonnés partout au Canada.

Alors que les réseaux mobiles (cellulaires) à large bande ont étendu leur couverture au pays, le coût (et la valeur) des plans de données mobiles ne peut concurrencer celui des solutions de réseaux terrestres fixes. Les tours fixes sans fil sont maintenant déployées et considérées comme la solution la plus économique pour les zones comprenant de 5 à 30 ménages par kilomètre carré. Les réseaux sans fil bénéficient d'un faible coût de déploiement, mais d'une portée relativement limitée (jusqu'à 15 km) par rapport aux satellites. Tel que mentionné dans la section, on s'attend à ce que le satellite demeure l'option la plus rentable pour les zones à faible densité. Xplornet présente le satellite comme la solution la plus efficace pour les zones résidentielles où la densité des ménages est inférieure à 5 ménages par kilomètre carré. En fait, le satellite est la seule option et la seule solution disponible pour les ménages éloignés et ruraux où le déploiement d'un réseau de fibre optique n'est pas économiquement réalisable. En outre, le satellite n'est pas toujours en concurrence avec les réseaux terrestres, mais il peut être utilisé comme solution de secours en cas de panne. Une analyse des différentes technologies d'accès est présentée ci-dessous.

ANALYSE DES TECHNOLOGIES D'ACCÈS

	TERRESTRE				SATELLITE		
	xDSL	**CABLE**	**FTTx**	**SANS FIL (3G/LTE)**	**REGULIER (GEO)**	**SHD (GEO)**	**SHD (OTB)**
COUVERTURE	Dans un rayon de 2-5 km d'un commutateur central équipé de DSLAM.	Tout endroit connecté au réseau HFC et une tête de réseau équipée de systèmes CMT.	Tout endroit près d'un commutateur central équipé de terminaison à fibre optique, équipement.	Portée de ~ 15 km de la station de base mobile (portée beaucoup plus courte dans les zones urbaines)	Tout endroit à l'intérieur de la couverture du satellite.	Tout endroit à l'intérieur de la couverture du satellite.	Tout endroit à l'intérieur de la couverture du satellite.
DÉPLOIEMENT	Urbain/suburbain	Urbain/suburbain	Urbain/suburbain	Urbain/Suburbain/ ex-urbain	ex-urbain/rural	Suburbain/ ex-urbain/rural	ex-urbain/rural
DÉBITS DE MAXIMAUX (bas)	10-100 Mbps	30-200+ Mbps	>500 Mbps	30 Mbps *Futur: 100+ Mbps*	5 Mbps	25+ Mbps	100+ Mbps
VOLUME DE DONÉES (par abonné)	10-200 Go	10 Go à illimité	50 Go à illimité	1 – 25 Go	<10 Go	5 – 30 Go	<50 Go
COÛTS DE DÉPLOIEMENT (par utilisateur)	Faible-Moyen	Moyen	Moyen-Élevé	Faible	Moyen	Faible-Moyen	Faible-Moyen
DURÉE DE VIE DU SERVICE	25 ans	50 ans	50 ans	15 ans	15 ans	15 ans	5-10 ans
LATENCE (aller-retour)	~40ms	25ms	<20ms	~50-80ms	~400-1,000ms	~550-650ms	<50ms
AUTRES BÉNÉFICES	Tire partie des infrastructures existantes	-	-	Mobilité	Mobilité/ Télédiffusion	Mobilité	Mobilité
POTENTIELLES DISRUPTIONS DE SERVICE	Coupures du câble et interférences des RF	Coupures du câble et interférences des RF	Coupures du câble	Évènements météo sévères, coupures solaires, interférences des RF	Évènements météo sévères, coupures solaires, interférences des RF	Évènements météo sévères, coupures solaires, interférences des RF	Évènements météo sévères, coupures solaires, interférences des RF

3.5.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future

L'évolutivité et le coût sont deux domaines clés déterminés comme des inhibiteurs de la croissance future des satellites. Dans le cas de l'évolutivité, le réseau fixe sans fil et le réseau à fibre optique sont mieux adaptés pour atteindre un plus grand nombre d'utilisateurs. Les communautés du Nord font pression pour bénéficier de solutions de fibre optique par l'intermédiaire de différents projets afin d'obtenir un accès Internet haute vitesse. De plus, des organismes sans but lucratif recueillent des fonds pour l'expansion du réseau à fibre optique dans les régions rurales. La société SWIFT cherche à assurer la connectivité dans le sud-ouest de l'Ontario avec un réseau de fibre optique. Grâce au financement de 180 millions de dollars fourni par les gouvernements du Canada et de l'Ontario, SWIFT prévoit déployer son service d'ici 2022. Une fois pleinement opérationnel, le projet pourrait en fait attirer les abonnés au haut débit par satellite dans cette région.

On s'attend à ce que le coût de la connectivité par satellite demeure un obstacle, en particulier dans les marchés où les prix sont moins abordables. La Commission des Nations Unies sur la large bande stipule que la large bande est abordable si un plan d'accès au large bande fixe d'entrée de gamme est disponible à 5 % ou moins du revenu mensuel moyen. Les données du recensement indiquent que le revenu médian des communautés autochtones est nettement inférieur à la moyenne nationale, et que 27 communautés ont déclaré des revenus totaux médians inférieurs à 10 000 $[99]. Malgré la baisse des coûts de la bande passante par satellite, les collectivités du Nord continueront de dépendre de l'appui du gouvernement pour la connectivité à large bande. Le fournisseur de services SSi Micro souligne le besoin d'avoir un soutien financier soutenu de la part du gouvernement pour une dorsale d'accès ouvert. Les cycles d'engagement actuels créent des inefficacités, car un fournisseur de satellites n'a que quelques années pour rentabiliser son investissement[100].

Enfin, la disponibilité d'une capacité satellitaire à faible coût et à faible latence au Canada dépend du lancement réussi des futures constellations LEO. Ces projets de plusieurs milliards de dollars (Télésat LEO, SpaceX Starlink, etc.) en sont aux premiers stades de développement et doivent encore obtenir du financement avant qu'ils ne se concrétisent.

TRANSPORT/LOGISTIQUE

3.6 EXAMEN DE L'UTILISATION ET DES AVANTAGES DANS LE DOMAINE DU TRANSPORT ET DE LA LOGISTIQUE

Les progrès technologiques modifient progressivement le paysage mondial du transport et de la logistique, passant de l'apport humain traditionnel à l'origine de chaque tâche et activité à l'interconnexion matérielle et à la prise de décision des machines en passant par le traitement des données recueillies par de multiples

[99] « *Census: Median income in four of five Indigenous communities below poverty line* » National Post (2017) Consulté à l'adresse : https://nationalpost.com/pmn/news-pmn/canada-news-pmn/early-census-figures-show-depth-of-low-incomes-in-indigenous-communities

[100] « *Broadband as the new basic service: local talent needs a shared backbone and open gateways* », exposé de SSi Micro (2018). Consulté à l'adresse : https://www.qiniq.com/wp-content/uploads/sites/2/2018/05/SSi-2018-02-06.pdf

types de capteurs intégrés. Cette nouvelle tendance est mieux connue sous le nom d'Internet des objets (IdO), qui inclut les concepts « d'objet intelligent » et de communication de machine à machine (M2M).

Plus précisément, l'Internet des objets (IdO) permet de connecter des objets du quotidien, des machines industrielles et des véhicules, notamment, et modifie la manière dont les personnes, les entreprises ou les autres institutions interagissent avec leur environnement. Les interactions machine-machine sont utilisées par les équipements/capteurs à faible débit de données (LDR) pour le suivi des actifs, la télémétrie ou le contrôle et l'acquisition des données de surveillance (SCADA) qui sont fixés aux conteneurs, véhicules, pipelines et autres actifs fixes ou mobiles. Les terminaux M2M/IdO sont généralement moins chers que les autres types de terminaux mobiles et ne nécessitent qu'une bande passante limitée en raison de la petite taille des messages qu'ils transmettent. L'augmentation de l'IdO au sol devrait stimuler la croissance des terminaux M2M/IdO par satellite, permettant une connectivité à distance fiable pour un large éventail d'applications, telles que les voitures connectées, le suivi de flotte, les applications industrielles, etc.[101]. Un marché connexe, exploitant les données de géolocalisation des puces GPS de l'électronique grand public (téléphones intelligents, moniteurs d'activité physique, etc.), sert de plateforme pour un nombre croissant d'applications visant à améliorer le transport, la santé et le bien-être des individus.

Les prévisions concernant la taille et le potentiel du marché de l'IdO sont très différentes. Selon diverses sources, entre 20 et 30 milliards d'appareils devraient être connectés d'ici 2020. Les divergences peuvent s'expliquer en partie par la nature subjective de la définition de la « connexion », due à l'absence de normes internationales, et par la prise en compte ou non, dans les calculs, d'appareils portables tels que téléphones intelligents, tablettes et ordinateurs[102]. Des organisations comme l'Union internationale des télécommunications (UIT) et la IEEE Standards Association travaillent à la normalisation des communications ou du matériel. Les gouvernements commencent maintenant à mettre en œuvre des règlements nationaux, comme la loi américaine sur l'amélioration de la cybersécurité de l'Internet des objets (IdO) qui a été présentée au Congrès en août 2017.

Les estimations financières concernant la taille totale du marché de l'IdO sont en hausse. McKinsey prévoit une valeur marchande mondiale de 227 à 581 milliards de dollars pour l'industrie de l'IdO d'ici 2020[103], tandis que Bain prévoit que les revenus mondiaux atteindront 470 milliards de dollars pour tous les fournisseurs de matériels, logiciels et autres solutions connexes en 2020[104].

---

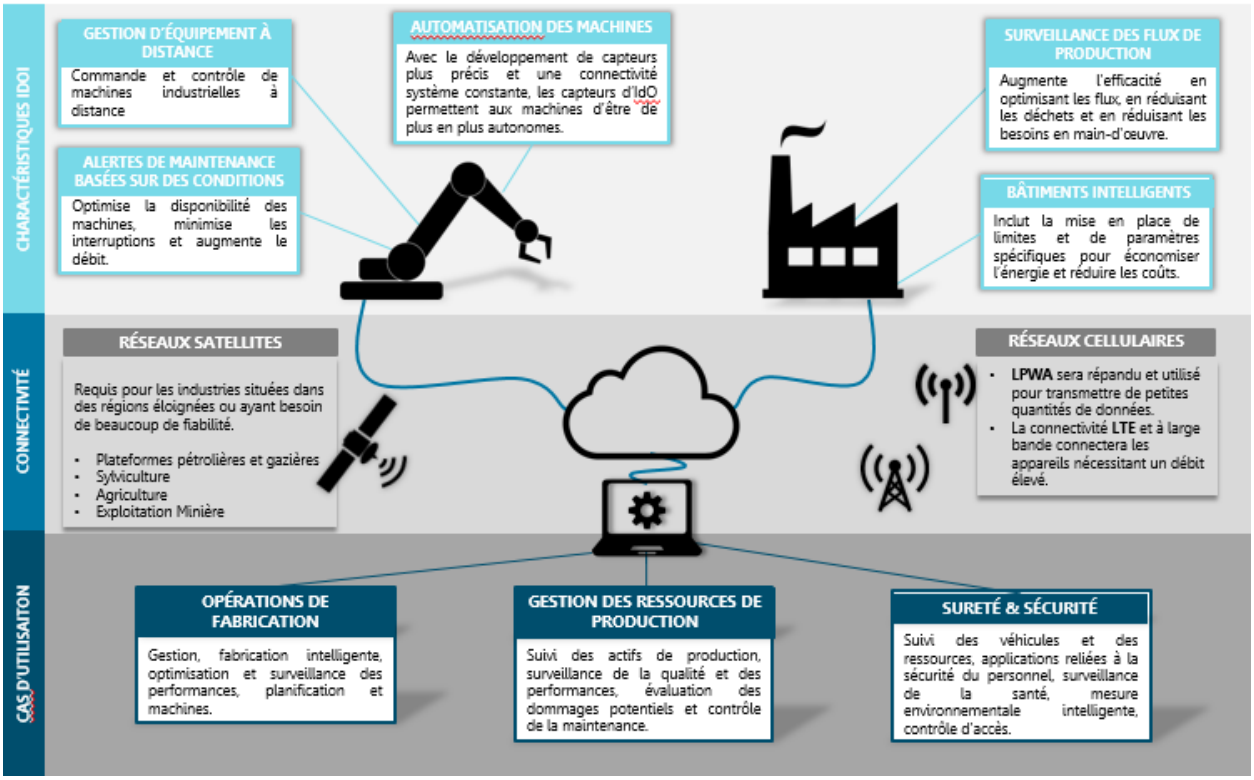
[101] « *Prospects for L-Band, IoT & M2M Markets* » Rapport exécutif d'Euroconsult (2017).

[102] « *Popular Internet of Things Forecast of 50 Billion Devices by 2020 Is Outdated* ». Nordrum A. (2016).

[103] « *The IoT opportunity – Are you ready to capture a once-in-a lifetime value pool?* » Ip C. (2016). Consulté à l'adresse : https://www.mckinsey.com/global-themes/internet-of-things/our-insights

[104] « *How Providers Can Succeed in the Internet of Things* ». Bosche A. (2016).

PRINCIPE DE L'IdO INDUSTRIEL



3.6.1 EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR L'UTILISATION DE L'APPLICATION

Avant de présenter la ventilation par section, la méthodologie utilisée pour segmenter les travaux et illustrer l'utilisation des différentes applications spatiales pour l'IdO est décrite ci-dessous.

Tout d'abord, au niveau local, les systèmes d'IdO/M2M sont définis par l'interconnexion de matériels et d'équipements qui peuvent mesurer, détecter, analyser et agir ensuite dans leur environnement. Pour ce faire, des capteurs, actionneurs, processeurs et émetteurs-récepteurs intégrés doivent être installés dans l'équipement cible/les machines industrielles/les appareils de l'utilisateur final. Selon cette définition, le fonctionnement général et les principes de l'IdO peuvent être divisés en trois catégories différentes :

> Informations sur le capteur : Étape où tous les capteurs embarqués recueillent des données sur le matériel/dispositif où ils sont installés et sur les conditions ou l'environnement dans lequel ils fonctionnent.

> Stockage et traitement : Le niveau auquel les différents appareils enregistrent et traitent les données collectées par les capteurs. Selon l'utilisation et le contexte de fonctionnement, des actionneurs (petits moteurs utilisés pour créer du mouvement) peuvent être activés pour effectuer une action physique en fonction des informations traitées.

> Communication et transmission : C'est l'étape où les données recueillies au niveau de la machine sont transmises aux utilisateurs finaux ou aux parties intéressées (propriétaires, clients, producteurs), donnant lieu à des analyses, applications physiques et autres services[105].

Le marché mondial de l'IdO devrait connaître une croissance exponentielle dans les années à venir, sous l'impulsion des nouvelles applications et des réseaux spécialisés, la majeure partie de la connectivité étant assurée par voie terrestre. On s'attend à ce que l'industrie des satellites capture une partie de cette croissance, même si elle ne devrait occuper qu'une fraction du marché total et trouver son créneau pour les applications et la transmission à distance dans les sites terrestres difficiles d'accès. La navigation et les communications par satellite sont les applications spatiales utilisées aux fins de l'IdO[106]. Il convient de noter que les satellites de télécommunication utilisés sur le marché de l'IdO/M2M utilisent principalement la bande L pour sécuriser les transmissions. Ainsi, les fournisseurs de services mobiles par satellite tels qu'Iridium, Orbcomm et Inmarsat figurent parmi les premiers opérateurs établis à s'attaquer à ce secteur émergent[107].

Les applications pratiques intégrant des solutions d'IdO sont nombreuses. Les transports terrestres et maritimes, l'aéronautique, les forces militaires, l'automobile, les hydrocarbures, les utilisateurs et consommateurs finaux, les liaisons terrestres, les villes intelligentes, les voitures connectées et les infrastructures sont tous des secteurs clés pour l'inclusion potentielle de l'IdO. Toutefois, le champ d'application de la présente étude est orienté vers l'utilisation de l'espace, c'est-à-dire principalement les actifs satellitaires; par conséquent, seuls les domaines où une utilisation pertinente des technologies de communication et de navigation par satellite peut être faite seront examinés dans la présente étude.

Cette section met l'accent sur :

> le transport terrestre, en particulier le suivi des parcs de véhicules et des biens, et les applications multimodales;

> la logistique maritime. L'accent est mis sur le suivi de la flotte et des biens par le biais du système d'identification automatique (SIA) et de la gestion logistique;

> l'utilisation des terres par les consommateurs. Grâce à l'utilisation d'applications GPS/GNSS pour les téléphones intelligents, les appareils portables (c.-à-d.. les moniteurs de la santé, de l'activité physique), ou la création d'industries par la connexion d'utilisateurs (c.-à-d.. Uber).

Par la suite, nous examinerons la position et les activités du Canada dans ce secteur des technologies émergentes.

3.6.1.1 Logistique maritime

---

[105] « *Nanosatellite Telecommunications: A market study for IoT/M2M applications* » London Economics (2017). Consulté à l'adresse : https://londoneconomics.co.uk/wp-content/uploads/2017/10/LE-CSL-IoT-M2M-Market-Sizing-Requirements-Report-FINAL_PUBLIC-S2C310817_FOR-WEBSITE_v2.pdf

[106] « *What's the role of satellite connectivity in an IoT world?* » Telefonica IoT Team (2017). Consulté à l'adresse : https://iot.telefonica.com/blog/whats-the-role-of-satellite-connectivity-in-an-iot-world

[107] « *Inmarsat develops a comprehensive global IoT network with JT Group* » Inmarsat (2017). https://www.inmarsat.com/press-release/inmarsat-develops-a-comprehensive-global-iot-network-with-jt-group/

Le transport maritime joue un rôle crucial dans les échanges et le transport de marchandises à l'échelle mondiale. L'Organisation maritime internationale (OMI) des Nations Unies estime que le transport maritime représente plus de 90 % du commerce mondial et qu'il constitue l'option la moins coûteuse et la plus efficace pour expédier des cargaisons massives partout sur la planète[108]. Avec plus de 10,5 milliards de tonnes de marchandises transportées par voie maritime en 2017 et un taux de croissance annuel estimé à 3,2 % jusqu'en 2022, cette industrie a beaucoup à gagner de la modernisation et de l'intégration des technologies embarquées dans ses équipements. Les relais de données satellitaires qui survolent les océans et qui sont installés dans les emplacements géographiques où les réseaux terrestres ne peuvent pas assurer une transmission adéquate des données, et les informations de positionnement précises fournies par les systèmes de navigation spatiale représentent des atouts très précieux pour l'industrie[109].

Le suivi de la flotte et des actifs est l'une des principales préoccupations des opérateurs dans le monde entier. Le système d'identification automatique (SIA), l'équivalent maritime du contrôle du trafic aérien, est mis en œuvre dans l'industrie pour compléter l'utilisation des radars navals terrestres afin d'améliorer les capacités de surveillance des navires. Ce système embarqué sur le navire s'appuie sur des satellites pour détecter la position, la trajectoire, la vitesse et la signature SIA de chaque navire (qui permet de distinguer un navire des autres navires qui l'entourent), les données étant transmises aux autorités côtières et aux réseaux terrestres pour appuyer les activités de contrôle, de surveillance et de suivi. Selon les règlements de l'OMI, les navires transportant plus de 300 tonnes en voyage international et les navires transportant plus de 500 tonnes de fret dans les eaux locales doivent avoir à bord des dispositifs SIA. L'utilisation de l'espace pour assurer la transmission des données est essentielle, car en raison de la courbure de la Terre, même si un navire est équipé de systèmes SIA, l'information ne peut être transmise par des moyens terrestres à plus de 74 km de la côte, ce qui signifie que les données de trafic SIA ne peuvent être reçues que par les navires proches ou les zones côtières locales. Ce problème est résolu par la couverture mondiale offerte par les ressources spatiales, qui permettent d'établir des liaisons de communication permanentes entre les stations maritimes et les stations au sol concernées. Des institutions telles que l'Agence spatiale européenne (ESA) soutiennent actuellement le développement de systèmes SIA par satellite, en l'occurrence dans le cadre de son programme ARTES (Advanced Research in Telecommunications Systems)[110].

En ce qui concerne les avantages, les activités de surveillance et de suivi rendues possibles par la mise en œuvre de systèmes d'IdO à bord des navires, appuyées par des ressources spatiales, peuvent améliorer et aider à résoudre les problèmes liés : à la logistique, à la surveillance des conteneurs et à la surveillance du rendement de l'équipement. Par conséquent, l'intégration de cette technologie pourrait entraîner des économies substantielles pour les propriétaires de flottes. McKinsey prévoit que l'installation de dispositifs d'IdO sur chaque conteneur maritime pour relayer le positionnement et d'autres données pertinentes pourraient permettre d'améliorer de 10 à 25 % le taux d'utilisation des équipements de fret, ce qui se traduirait par une réduction de 13 milliards de dollars des dépenses consacrées aux conteneurs[111]. Un autre exemple d'utilisation pratique de l'IdO pourrait être l'intégration de capteurs de température, d'humidité et de composition de l'air pour surveiller les expéditions réfrigérées ou organiques stockées dans des conteneurs afin de réduire les coûts liés aux dommages en transit. Là encore, des moyens satellitaires seraient utilisés pour établir des liaisons de communication entre les navires de charge et les parties

---

[108] « *IMO profile* » Organisation maritime internationale (2018). Consulté à l'adresse : https://business.un.org/en/entities/13

[109] Review of maritime transport, 2017, UN

[110] « Review of Maritime Transport 2017 » CNUCED (2017). Consulté à l'adresse : https://www.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_-_Automatic_Identification_System_SAT-AIS

[111] « *The Internet of things Mapping the value beyond the hype* » McKinsey Global Institute (2015).

réceptrices ou inspectrices en ce qui concerne l'échange de marchandises, ce qui permettrait une gestion saine et une prise de décision efficace. En outre, on observe une tendance mondiale à l'accélération des investissements dans les systèmes de sensibilisation au domaine maritime, grâce à l'échange d'informations en temps opportun et à la coordination des réponses entre les participants, afin de soutenir les questions de défense et de sécurité, ce qui permet d'améliorer la sécurité publique.

3.6.1.2 Transport terrestre

L'industrie du camionnage joue un rôle central dans la distribution des marchandises par voie terrestre. Les marchandises arrivent souvent à terre par bateau dans le cadre de réseaux de transport multimodaux ou intermodaux. L'industrie du camionnage sert l'économie en transportant d'importantes quantités de matières premières, de produits en cours de fabrication et de marchandises prêtes à être livrées. Le marché mondial du camionnage devrait croître à un taux de croissance annuel composé modéré de 3,1 % d'ici 2024. Ce taux représente un marché mondial de 3,7 millions de véhicules vendus (capacité moyenne et lourde) d'ici 2024, la majorité étant constituée de véhicules utilitaires lourds[112]. Toutefois, les études récentes tendent à être légèrement pessimistes quant à l'avenir à long terme de l'industrie et à invoquer les améliorations technologiques des camions pour compenser la baisse prévue des ventes dans un proche avenir[113].

La modernisation des camions est aujourd'hui la principale voie empruntée par les équipementiers (OEM). Comme on l'a vu dans la section sur l'agriculture, la numérisation a pris de l'ampleur et a été mise en œuvre de façon significative dans les tracteurs. La même tendance s'observe aujourd'hui dans l'industrie du transport par camion, avec l'introduction de la télématique, des capteurs et des solutions d'informatisation dans les produits des constructeurs qui, en d'autres termes, utilisent la toute nouvelle technologie d'IdO dans leurs véhicules. Ces systèmes seront conçus entre autres pour suivre l'emplacement et le kilométrage, alerter en cas d'ouverture des portes, surveiller la température et l'humidité à l'intérieur de la cabine, optimiser les itinéraires, assurer une utilisation optimale de la capacité. L'adoption de la télématique et des logiciels, avec des dispositifs interconnectés, permet d'optimiser la circulation des camions, d'améliorer les conditions de travail des chauffeurs, d'économiser du carburant et d'augmenter la durée de vie utile des camions en contrôlant l'usure des composants mécaniques[114].

L'utilisation des ressources spatiales permet la transmission de cette quantité émergente de données entre les différents acteurs de la chaîne de valeur du transport terrestre. Les systèmes GPS/GNSS fournissent aux conducteurs des informations de géolocalisation précises pour soutenir et optimiser leurs itinéraires et leurs conditions de conduite, tandis que les applications de communication par satellite permettent aux propriétaires de flottes de surveiller et de suivre leurs actifs, de rester en contact permanent avec leurs employés, même s'ils sont situés dans des endroits éloignés hors de portée de l'infrastructure des communications terrestres du réseau. L'Australie est un exemple modèle de l'adoption de telles pratiques,

---

[112] « *Truck market 2024 – Sustainable Growth in Global Markets* » Deloitte (2014). Consulté à l'adresse : https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/process-and-operations/truck-studie-2014-s.pdf

[113] « *Global Truck Study 2016 – The truck industry in transition* » Deloitte (2016). Consulté à l'adresse : https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/manufacturing/us-manufacturing-global-truck-study-the-truck-industry-in-transition.pdf

[114] « *No Longer Afterthoughts, Trailers Are Getting Smart* » Hurt E. (2018). Consulté à l'adresse : https://www.trucks.com/2018/03/14/trailers-getting-smart/

le pays étant confronté à de nombreux défis géographiques et comptant sur le camionnage comme partie intégrante de son économie[115].

L'industrie du transport terrestre génère un besoin constant d'informations de géolocalisation par satellite et de transmission de données en raison de sa nature mobile et de la nécessité de livrer des marchandises dans des zones géographiquement difficiles où l'installation de réseaux terrestres est complexe, afin de répondre aux besoins télématiques nouveaux et croissants des différents acteurs du secteur du camionnage.

3.6.1.3 Utilisation par les consommateurs.

Le GPS gagne en importance et son utilisation augmente d'année en année, non seulement pour le transport par camion, mais aussi pour les besoins des consommateurs individuels. Aujourd'hui, la plupart des utilisations de l'IdO par les consommateurs sont interconnectées et réalisées au moyen d'appareils mobiles tels que les téléphones intelligents, grâce à l'utilisation d'applications spécialement conçues, la géolocalisation étant la donnée spatiale la plus utilisée pour ce marché.

Le système mondial de localisation (GPS) est utilisé quotidiennement par des millions de propriétaires de téléphones intelligents pour déterminer leur géolocalisation ou repérer leur destination cible, se traduisant par des itinéraires optimisés et des gains de temps pour les consommateurs. Des dizaines d'applications sportives et de condition physique comme Strava et Runtastic ou des produits portables comme Fitbit, Apple Watch ou d'autres équipements proposés par Garmin pour améliorer la collecte de données sportives, utilisent les informations GPS comme données de base pour offrir aux consommateurs toute une gamme d'informations (distance, temps de déplacement, calories consommées, vitesse moyenne, altitude, fréquence cardiaque) sur leurs activités quotidiennes. De plus, en s'appuyant toujours sur les données de géolocalisation, de nouvelles applications comme Uber sont nées de l'interconnexion entre les téléphones des conducteurs et des clients en utilisant une géolocalisation spatiale pour déterminer les trajets et véhicules les plus efficaces pour chaque besoin spécifique des consommateurs.

Ces nouvelles entreprises ont apporté un nouveau flux de revenus dans les pays permettant leur utilisation, illustré par Uber qui déclare avoir créé 160 000 emplois aux États-Unis en 2017[116]. Comme on l'a vu, les avantages associés à la liaison entre l'utilisation de l'espace et les applications dérivées de l'IdO pour les particuliers sont nombreux : création d'emplois, amélioration de la productivité par le gain de temps, meilleure efficacité des déplacements, amélioration des avantages sociaux tels que la santé et le bien-être individuel, etc. Selon des études récentes, l'accès élargi à l'information GPS a des répercussions économiques mondiales importantes sur les transports, qui s'élèvent à plus de dix milliards de dollars par an[117].

---

[115] « *Fleets Working Remotely - The Benefits of Satellite Technology* » Optus (2015). Consulté à l'adresse : https://blog.optus.com.au/business/fleets-working-remotely-benefits-satellite-technology/

[116] « *Uber Revenue and Usage Statistics 2017* » Dogtiev A. (2018). Consulté à l'adresse : http://www.businessofapps.com/data/uber-statistics/

Cependant, il convient également de noter qu'il ne s'agit peut-être pas uniquement de « nouveaux emplois », mais qu'il existe encore une certaine controverse sur le soutien d'une telle économie de « petits boulots » et sur les impacts que cela a sur les emplois à temps plein existants. Dans ce cas, l'impact que cela peut avoir sur les chauffeurs de taxi existants.

[117] « *Space as a Global Utility* » Hertzfeld H.R. (2011). Pour la subvention #NNNX09AG48G de la NASA

3.6.2 AVANTAGES SÉLECTIFS POUR LE TRANSPORT ET LA LOGISTIQUE AU CANADA

Dans la section ci-après, des exemples spécifiques sont donnés pour illustrer l'utilisation de l'espace au profit du secteur du transport et de la logistique, la plupart de ceux-ci étant axés sur les technologies fondées sur l'IdO. Les applications pratiques intégrant des solutions d'IdO sont nombreuses, le transport terrestre, maritime, aéronautique, automobile, aéronautique, etc. sont tous des secteurs clés pour l'inclusion potentielle d'IdO. Cette section se concentrera sur les domaines dans lesquels les applications satellitaires sont intégrées, en particulier les communications et la navigation par satellite. Cela comprend :

> La logistique maritime. Axée sur le suivi de la flotte et des biens au moyen des systèmes d'identification automatique (SIA) et de la gestion logistique.

> Le transport terrestre, en particulier le suivi des parcs de véhicules et des biens, et les applications multimodales

> L'utilisation par les consommateurs. Grâce à l'utilisation d'applications GPS/GNSS pour les téléphones intelligents, les appareils portables (c.-à-d. les moniteurs de la santé, de l'activité physique), ou la création d'industries par la connexion d'utilisateurs (c.-à-d. Uber)

L'IdO basé dans l'espace est encore en émergence. Par conséquent, les données sur certains domaines d'utilisation sont plus limitées. Le marché américain étant l'un des principaux moteurs du développement de l'IdO et le plus analysé en raison de sa taille et de son potentiel de rentabilité économique, la plupart des informations publiques dérivées de l'IdO sont disponibles sur ce marché. Aux fins du présent rapport, des hypothèses sont ensuite utilisées pour établir les avantages pour le Canada. Les scénarios d'avantages qui ont pu être élaborés ou recueillis au cours de la consultation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES SÉLECTIFS DÉTERMINÉS

TYPE	AVANTAGE	
Quantitatif	AMÉLIORER L'UTILISATION DES CONTENEURS MARITIMES	• L'amélioration de l'utilisation des conteneurs rendue possible par l'IdO spatial générera des économies de 170 millions de dollars pour l'industrie maritime canadienne d'ici 2025.
	AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DE LA LOGISTIQUE	• On a déterminé que des économies de carburant annuelles d'environ 50 millions de dollars par an étaient attribuables à la technologie de l'IdO par satellite grâce à une surveillance améliorée de la vitesse de plus de 1 million de camions poids moyen et lourd en activité au Canada.
	SOUTENIR LA CRÉATION D'EMPLOIS AU CANADA	• Euroconsult estime que les services Uber avec GPS créeront jusqu'à 24 500 emplois équivalents à temps partiel au Canada en 2027.
	TÉLÉCHARGEMENTS VISANT LA SANTÉ ET LA CONDITION PHYSIQUE	• Des enquêtes récentes montrent que plus de 300 000 applications liées à la santé et à la condition physique, dont un tiers sont basées sur la technologie GPS, ont été téléchargées par les utilisateurs canadiens de téléphones intelligents en mai 2018.
	RÉDUCTION DES MARCHANDISES ENDOMMAGÉES	• L'utilisation de capteurs d'IdO permettant de surveiller l'état du fret et de transmettre des informations aux stations de contrôle par satellite permet d'éviter jusqu'à 50 % des dommages causés aux marchandises pendant le voyage. Cela peut réduire de 130 millions de dollars les coûts causés par les marchandises endommagées à partir de 2025.
Qualitatif	OPTIMISATION DES ACTIVITÉS QUOTIDIENNES D'ACHEMINEMENT POUR LES CANADIENS	• Plus de 23 millions de Canadiens profitent des applications GPS par satellite pour optimiser l'acheminement.
	AMÉLIORER LA SURVEILLANCE DES NAVIRES DANS LES EAUX CANADIENNES	• Le gouvernement canadien est en mesure de surveiller tous les navires qui traversent les eaux sous contrôle canadien à l'aide de la technologie SIA, pour des raisons de sécurité et de sûreté en mer, ainsi que pour appuyer les intérêts commerciaux, comme la pêche.

3.6.2.1 Améliorer l'utilisation des conteneurs maritimes

Responsable de 90 % du transit mondial des marchandises, l'industrie maritime est un marché clé pour l'IdO, qui permet d'améliorer l'efficacité de la logistique du transport maritime. La nature évolutive constante du suivi des actifs en fait un outil idéal pour les solutions de communication machine. En moyenne, un conteneur d'expédition n'est en mer que pendant 20 % de sa durée de vie, le reste de sa vie étant passé en transport terrestre ou en entreposage. Cependant, comme les ports sont de plus en plus occupés en raison de l'augmentation du commerce maritime, les entreprises de logistique cherchent à améliorer l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement tout en maintenant les délais de distribution.

Selon McKinsey[118], en insérant l'IdO dans le processus, en installant des dispositifs de suivi dans chaque conteneur et en assurant la transmission des données de voyage, d'utilisation et de localisation par satellite aux centres de contrôle, les compagnies maritimes devraient améliorer l'utilisation des conteneurs de 25 % d'ici 2025, ce qui permettra de réaliser des économies de 17 milliards de dollars réalisées dans le secteur logistique (grâce à une utilisation accrue des conteneurs, ce qui permettra de transporter davantage de

[118] « *The Internet of Things: mapping the value beyond the hype* », McKinsey Global Institute, juin 2015

matières dans le monde). **Cela se traduit par un impact positif de 170 millions de dollars pour l'industrie maritime canadienne d'ici 2025**. Avec 18 grands ports et 310 millions de tonnes de marchandises manutentionnées annuellement, ce qui représente un PIB total de 25 milliards de dollars, les installations maritimes du Canada génèrent des retombées économiques importantes pour le pays et pourraient accélérer son taux de croissance annuel de 2,1 % si cette technologie était intégrée aux infrastructures.

En outre, le suivi des cargaisons peut avoir d'autres avantages en ce qui concerne le maintien de la qualité du service de livraison maritime fourni. Des capteurs d'humidité, de température et de pression peuvent être placés à l'intérieur des conteneurs et alerter les équipes lorsque des cargaisons fragiles telles que des aliments frais ou des produits électroniques ont atteint un état critique afin que les travailleurs puissent atténuer les dommages pendant le transport. **Les estimations de la recherche montrent que jusqu'à 50 % des dommages causés aux marchandises lors des déplacements peuvent être évités grâce à l'utilisation de capteurs IdO qui surveillent l'état du fret et transmettent les informations aux stations de contrôle par satellite. Cela peut réduire de 130 millions de dollars les coûts causés par les marchandises endommagées à partir de 2025.** Les possibilités offertes par une telle technologie comprennent, par exemple, le changement de trajectoire d'un navire afin de faire une escale ou d'atteindre une rive voisine pour garder les denrées périssables fraîches; accélérer la vitesse d'un navire pour arriver à destination plus tôt que prévu après avoir constaté des dommages importants ou le risque de perdre une partie des marchandises et/ou envoyer des ordres à l'équipage pour modifier les conditions de chargement, c'est-à-dire la température ambiante, la pression et l'humidité ou même réorganiser la façon de placer les marchandises dans les conteneurs. Les pertes dans le secteur de la livraison de colis sont également préoccupantes, avec 0,5 % à 3 % du total des marchandises en transit perdues selon les régions. La mise en œuvre de puces IdO pour surveiller les colis pourrait prévenir une bonne partie de ces pertes.

3.6.2.2 Réduire la consommation de carburant des camions

À la fin de l'année 2016, Transports Canada a indiqué que plus de 66 000 entreprises canadiennes avaient pour activité principale le transport par camionnage. Pour ce secteur d'activité, l'IdO spatioporté faisant intervenir des applications GPS et de télécommunications pourrait réduire considérablement la consommation de carburant, un facteur de coût majeur et un problème d'impact environnemental auquel est confrontée l'industrie. L'utilisation de la « télématique », terme que l'industrie du camionnage utilise pour désigner tous les capteurs intégrés dans les camions qui envoient des données aux centres de contrôle, peut s'appliquer de diverses façons pour aider les entreprises à réduire leurs coûts d'exploitation.

Des capteurs peuvent être installés dans les moteurs des camions pour mesurer la vitesse de ces derniers. Au-dessus de 88 km/h, l'efficacité énergétique du camion en kilomètre par litre (km/l) commence à diminuer, à un taux de 0,04 km/l par km/h. Par conséquent, un camion roulant à 98 km/h perdra 0,4 km par litre de carburant consommé, ce qui, pendant la durée de vie du camion, peut entraîner des coûts importants. Les capteurs qui transmettent la vitesse à laquelle le camion roule peuvent envoyer des alarmes au centre de contrôle pour qu'il en informe le conducteur. En 2016, plus d'un million de camions moyens et lourds étaient en service au Canada, avec une distance moyenne parcourue par année de 52 000 km. En supposant que les conducteurs dépassent la vitesse permise de 10 km/h en moyenne pendant 10 % du temps d'utilisation, **les coûts associés à une mauvaise utilisation du carburant pourraient atteindre 2 milliards de dollars par année. Selon les estimations d'Euroconsult concernant la part « spatiale » du marché mondial de l'IdO, équivalant à 2 %, la valeur des économies de carburant attribuables à**

la technologie satellitaire grâce à l'amélioration des capacités de surveillance est d'environ 50 millions de dollars par an. Suivant la même approche, des puces intégrées mesurant la pression des pneus peuvent également contribuer à une meilleure efficacité énergétique. Dans ce cas également, des alertes peuvent être envoyées aux conducteurs et au personnel responsable de l'entreprise pour permettre l'application d'actions correctives.

D'autre part, les dispositifs de suivi GPS installés dans les camions peuvent permettre aux propriétaires de parcs de connaître en temps réel l'emplacement exact de leurs biens. Ainsi, en ayant accès à des données à jour sur les embouteillages et les éventuels blocages météorologiques sur les routes, le personnel responsable peut fournir des conseils précis aux chauffeurs et leur recommander les itinéraires optimaux afin de réduire le temps de conduite et d'accélérer les livraisons. De plus, un itinéraire d'acheminement efficace peut réduire le temps de marche au ralenti des moteurs des camions ce qui, pour certaines entreprises, représente jusqu'à 50 % du temps de marche du parcs de camions et qui se traduit par une consommation de carburant importante sans retour sur investissement. L'American Trucking Association estime que 4 milliards de gallons de carburant ont été consommés par les moteurs tournant au ralenti en 2016, ce qui se traduit par un coût total stupéfiant de 14 milliards de dollars pour les entreprises de camionnage et, en plus des coûts du carburant, l'association déclare qu'un moteur tournant au ralenti une heure par jour pendant une année complète entraîne une usure des moteurs représentant 64 000 milles parcourus, ajoutant les coûts de maintenance aux propriétaires de parcs.

3.6.2.3 Optimisation des activités quotidiennes d'acheminement pour les Canadiens

Les applications GPS pour les particuliers continuent de connaître une forte croissance, rendue possible par des appareils de poche encore plus performants et avec une technologie GPS intégrée. On estime qu'il y a plus de 40 millions d'appareils GPS de « services basés sur la localisation » au Canada seulement. Ces affirmations sont confirmées par le taux croissant d'utilisateurs canadiens de téléphones intelligents, qui culminera à 76 % en 2017, selon les estimations de Statistique Canada (statistiques sur la population canadienne âgée de plus de 15 ans). Au Canada, 23,4 millions d'utilisateurs de téléphones intelligents utilisent maintenant les données de géolocalisation dans l'espace comme données de base dans de multiples « applications », comme l'établissement des itinéraires automobile, les fonctions cartographiques, le géomarketing, la géolocalisation, etc. **Ainsi, plus de 23 millions de Canadiens profitent des applications GPS par satellite pour optimiser le routage**. Cela peut également avoir d'autres avantages, comme l'optimisation des déplacements en voiture, une sécurité accrue grâce à la prévention de la perte ou la possibilité de signaler des lieux à des tiers, etc.

Protection de la baleine noire de l'Atlantique Nord

La technologie SIA par satellite pourrait aider à réduire le nombre de collisions entre les navires et les baleines noires de l'Atlantique Nord.

La baleine noire de l'Atlantique Nord, en voie de disparition, est une espèce migratrice souvent observée le long des côtes canadiennes, attirée par les eaux riches en proies. Les populations actuelles sont estimées à 500 individus seulement. En raison du nombre croissant de navires en mer chaque année, les collisions avec des navires et les prises accidentelles dans les filets de pêche représentent une grave menace pour la population : dix baleines ont été retrouvées mortes dans le golfe du Saint-Laurent au cours de l'été 2017, et au moins deux d'entre elles auraient heurté des navires.

Même s'il existe des zones de protection marine (ZPM), la nature migratrice de l'espèce l'amènera souvent à se déplacer dans des zones à fort trafic maritime. Des règlements stricts ont été mis en place par le gouvernement, comme une réduction obligatoire de la vitesse à 10 nœuds pour les navires qui traversent l'ouest du golfe du Saint-Laurent ainsi que des amendes élevées pour les navires qui ne respectent pas la vitesse prescrite ou qui pénètrent dans une ZPM. La technologie SIA par satellite peut être un atout crucial dans l'application de ces règlements, en permettant de suivre précisément la vitesse et la trajectoire de chaque navire. Ces solutions aident à identifier les navires qui traversent des zones interdites et soutiennent l'analyse des vitesses afin de permettre une application rétroactive des amendes gouvernementales aux compagnies responsables. La surveillance constante du trafic que permettent les solutions SIA peut également aider à détourner les bateaux de leur trajectoire initiale si un groupe de baleines noires se trouve à proximité. Les institutions environnementales commencent également à utiliser l'imagerie satellitaire pour mieux faire connaître les déplacements des baleines dans les océans.

Source : https://www.ctvnews.ca/canada/tenth-dead-right-whale-found-in-the-gulf-of-st-lawrence-1.3528735; entrevues avec les représentants de l'industrie et du gouvernement.

3.6.2.4 Améliorer la surveillance des navires dans les eaux canadiennes

Les ressources spatiales jouent un rôle majeur dans la surveillance de l'activité maritime grâce à la technologie du Système d'identification automatique (SIA). Les dispositifs intégrés transmettent aux satellites la signature SIA d'un navire, laquelle fournit des données sur l'identité, la direction et la vitesse d'un navire. Le système SIA est utilisé par les autorités pour réduire les collisions entre les navires en mer, en particulier dans les zones à forte densité de trafic. Il facilite la recherche et le sauvetage, aide à surveiller les flottes de pêche, et lorsqu'il est combiné à l'imagerie SAR pour repérer les navires étrangers (c'est-à-dire ceux qui n'ont pas de transpondeur SIA) ou les activités illégales (comme la vidange des eaux de cale dans les aires protégées).

Des solutions comme celles proposées par exactEarth permettent aux compagnies maritimes de recevoir des informations pour suivre leurs navires, apporter un soutien aux équipages en cas d'urgence et permettre

aux gestionnaires de mieux visualiser les conditions environnementales dans lesquelles leurs navires sont utilisés. La constellation de satellites de la société, exactView lui permet d'assurer un suivi constant de 165 000 navires dans le monde entier et de compiler plus de 7 millions de transmissions SIA par jour.

Le gouvernement canadien est en mesure de surveiller tous les navires qui traversent les eaux sous contrôle canadien à l'aide de la technologie SIA, pour des raisons de sécurité et de sûreté en mer, ainsi que pour appuyer les intérêts commerciaux, comme la pêche.

L'industrie de la pêche représente une part importante des activités du Canada, injectant 6 milliards de dollars dans l'économie canadienne et occupant le deuxième rang dans les exportations alimentaires canadiennes, touchant plus de 140 pays à travers le monde, selon les chiffres publiés par le gouvernement en 2015. Selon les rapports de l'ONU élaborés par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la pêche illégale représente plus de 15 % des prises mondiales. Par conséquent, les avantages économiques pour l'industrie canadienne de la pêche pourraient être menacés par des pratiques illégales qui ont lieu dans d'autres régions du monde. Les ressources spatiales ont un rôle important à jouer dans l'atténuation des effets de la pêche illicite, non déclarée et non réglementée, en permettant l'utilisation de la technologie SIA afin de détecter, suivre et surveiller les activités et les opérations des bateaux de pêche. Pour lutter contre ces tendances, les processus appuyés par satellite comprennent l'utilisation d'images d'OT prises à des emplacements maritimes précis et la soustraction/superposition des résultats obtenus avec une carte SIA de la même zone, afin d'identifier les navires non immatriculés.

3.6.2.5 Soutenir la création d'emplois au Canada

Les sociétés de covoiturage de pair à pair, comme Uber, Lyft, etc. sont essentiellement des services de taxi rendus possibles par des dispositifs intelligents embarqués s'appuyant sur le GPS. Dans le cas d'Uber, la navigation par satellite est utilisée pour détecter les conducteurs les plus proches de l'emplacement de l'utilisateur, ce qui permet de créer une connexion entre le conducteur et l'utilisateur afin que le service soit fourni. Les derniers chiffres publiés par l'entreprise (2016) indiquent que 22 000 conducteurs canadiens opèrent officiellement sous le nom d'Uber, alors que l'entreprise prétend avoir créé 160 000 nouveaux emplois aux États-Unis en 2017. **Euroconsult estime que les services Uber avec GPS créeront jusqu'à 24 500 emplois à temps partiel au Canada en 2027**. Les conducteurs sont considérés comme des travailleurs indépendants et autonomes, ils doivent donc payer des impôts à l'Agence du revenu du Canada (ARC) ainsi que la taxe de vente harmonisée (TVH) au gouvernement.

Selon les estimations d'Uber et des sources publiques, un conducteur gagne en moyenne un peu plus de 20 $ l'heure, après soustraction de la part de l'entreprise et des autres frais connexes (programme « Safe Ride »). En divisant les données de l'entreprise sur le nombre total de trajets par le montant total généré par les conducteurs, on obtient un tarif moyen par trajet de 11 $ seulement. En établissant des hypothèses sur le nombre total d'heures travaillées, **on obtient un revenu total estimé des conducteurs d'Uber au Canada de 360 millions de dollars en 2018, dont environ 54 millions de dollars sont perçus en recettes fiscales**.

3.6.2.6 Amélioration de la santé et de la condition physique des Canadiens

Les applications de santé et de remise en forme pour les utilisateurs généraux sont en pleine expansion. Au cours des trois dernières années, elles ont connu un taux de croissance de 330 % et elles sont utilisées par 29 % de la population de 18 à 29 ans. La majorité des plateformes utilisées pour accéder à ces applications sont des téléphones intelligents. Grâce à l'intégration du GPS, les utilisateurs peuvent suivre la distance parcourue à la course ou à vélo, la vitesse moyenne, l'inclinaison, etc.

Lors d'un récent sondage mené en mai 2018, plus de 300 000 applications liées à la santé et à la remise en forme, dont un tiers sont basées sur la technologie GPS, ont été téléchargées par des utilisateurs canadiens de téléphones intelligents au cours de ce mois[119]**.** Strava, Runastic, Nike+ Run Club sont des exemples d'applications mobiles utilisées quotidiennement par les Canadiens. Ces nouvelles plateformes permettent non seulement aux consommateurs de mesurer leur performance physique et d'avoir une vue d'ensemble de leurs progrès au fil du temps, mais elles ont également un volet social qui motive et encourage les gens à faire de l'exercice en groupe. Fitbit, l'application américaine la plus populaire pour la santé et la remise en forme, a enregistré plus de 85 billions de pas pour 167 milliards de minutes d'exercice depuis sa création. Les résultats du troisième trimestre de 2017 indiquent que la société a vendu 3,6 millions d'appareils portatifs, qui utilisent la navigation par satellite pour améliorer la condition physique et la santé générale.

3.6.3 SOLUTIONS UTILISÉES AU CANADA

3.6.3.1 Solutions par satellite

La nature mondiale de la technologie IdO et la grande quantité de données à recueillir en temps réel dans le monde entier exigent le soutien de constellations de satellites situées en orbite terrestre basse, comme les constellations SIA ou les nouvelles constellations axées sur l'IdO. De plus, le GNSS agit comme un catalyseur pour une multitude d'applications, dans lesquelles le GPS est la principale solution utilisée au Canada.

Les sociétés spatiales commerciales canadiennes ont également commencé à lancer des systèmes spatiaux précurseurs répondant à la demande d'IdO. exactEarth a établi un partenariat avec Iridium pour héberger plus de 60 systèmes SIA fournissant des solutions de suivi des navires en temps réel sur les charges utiles de la constellation Iridium Next. La société a choisi la bande de fréquences VHF pour effectuer ses transmissions et affirme pouvoir fournir un positionnement très précis avec des temps de revisite moyens globaux de moins d'une minute. Helioswire et Kepler communications travaillent au lancement de constellations de satellites qui soutiennent l'industrie de l'IdO, dans le but de réduire la structure des coûts associée en utilisant la technologie des petits satellites et de démocratiser son accès dans le monde. La concurrence internationale s'intensifie, la société américaine Orbcomm propose désormais une couverture IdO et M2M à distance partout dans le monde permettant le suivi et la surveillance des actifs.

D'autre part, des technologies moins coûteuses dérivées de l'IdO et utilisant des solutions satellitaires sont actuellement mises au point et testées par les principales agences spatiales. Citons par exemple le programme de prévention de la piraterie maritime (MAPP), une initiative européenne visant à lancer de

---

[119] « *Leading health and fitness apps in the Google Play Store in Canada in May 2018, by number of downloads* » Statistica.com (2018). Consulté à l'adresse : https://www.statista.com/statistics/699096/leadinghealth-and-fitness-google-play-canada-downloads/

nouvelles méthodes peu coûteuses dérivées de l'espace pour réduire la piraterie dans le monde en améliorant la connaissance du domaine maritime et le suivi des navires. La viabilité économique est au cœur de ce nouveau système qui exploite l'imagerie d'OT et de minuscules dispositifs de suivi installés sur les navires afin de repérer tout comportement inhabituel potentiel des navires civils.

3.6.3.2 Solutions de rechange

Les infrastructures terrestres telles que la 4G et les futurs réseaux de communication 5G sont déjà bien développées et sont la solution préférée dans les zones urbaines. Plus la région est éloignée, y compris la haute mer, plus le recours aux satellites est grand en raison des coûts de construction d'une infrastructure terrestre. Il existe cependant quelques exceptions importantes à cet égard. Si la solution d'IdO est liée au GPS, il est difficile de la reproduire par voie terrestre. Uber, par exemple, a besoin de données de géolocalisation activées par le GPS pour fonctionner, même si la communication entre les appareils est largement basée sur la technologie terrestre.

3.6.3.3 Obstacles potentiels à la croissance future

La technologie IoT basée dans l'espace a fait son apparition ces dernières années, mais elle est encore loin d'être arrivée à maturité. Dans l'ensemble, il n'existe pas de véritable norme internationale concernant l'utilisation de l'IdO. L'Union internationale des télécommunications (UIT) et la IEEE Standards Association travaillent à la normalisation des communications et du matériel. Les gouvernements commencent maintenant à mettre en œuvre des règlements nationaux, comme la loi américaine sur l'amélioration de la cybersécurité de l'Internet des objets qui a été présentée au Congrès en août 2017. L'absence d'un cadre politique clair peut entraver le développement de systèmes technologiques en raison de l'incertitude quant à la technologie et à l'architecture du réseau qui pourraient être légalement limitées dans un avenir rapproché par les organismes internationaux.

Le piratage est également un problème; les dispositifs de l'IdO sont des concepts relativement simples associés à une connectivité globale, tout en étant capables de transporter des renseignements importants. L'absence d'un cadre réglementaire clair peut entraver le développement de systèmes technologiques en raison de l'incertitude quant à la technologie et à l'architecture du réseau qui pourraient être légalement limitées à l'avenir.

- FIN DU DOCUMENT-