



Agence spatiale
canadienne

Canadian Space
Agency



Évaluation du secteur d'activité Télécommunications par satellite de l'Agence spatiale canadienne

Pour la période d'avril 2012 à mars 2017

Projet n° 16/17 – 02-04

Préparé par la Direction, Audit et évaluation

Mai 2018

Table des matières

Liste des tableaux et des figures	3
Acronymes utilisés dans le rapport.....	4
Résumé	6
Pertinence	6
Rendement.....	7
1 Introduction	8
2 Description du SATS	8
2.1 Le contexte des télécommunications par satellites.....	8
2.1.1 Les télécommunications comme catalyseur	8
2.1.2 Les télécommunications par satellites : à l'initiative du secteur public ou privé?	10
2.2 Activités sectorielles	11
2.2.1 Survol et objectifs du SATS.....	11
2.2.2 Activités entreprises pendant la période d'évaluation.....	13
2.2.3 Ressources du programme	14
2.2.4 Structures de gestion	15
2.2.5 Logique du programme.....	16
2.3 Évaluations antérieures et connexes	18
3 Approche et méthodes d'évaluation	19
3.1 Objet et portée	19
3.2 Méthodes.....	19
3.2.1 Approche globale	19
3.2.2 Examen de la documentation et de la littérature.....	20
3.2.3 Entrevues avec des personnes clés.....	20
3.2.4 Limites	21
4 Constatations de l'évaluation	22
4.1 Pertinence.....	22
4.1.1 Niveau d'engagement dans les télécommunications par satellite	22
4.1.2 La participation des ministères et organismes	27
4.1.3 L'appui à l'industrie spatiale	29
4.1.4 Les attentes envers le gouvernement fédéral et l'ASC.....	32
4.2 Rendement.....	34
4.2.1 La mission M3MSat.....	34

4.2.2	La charge utile Cascade.....	41
4.2.3	La Mission de télécommunications et de météorologie en orbite polaire (PCW).....	42
4.3	Efficienc e du programme.....	43
4.3.1	Allocation des ressources.....	43
4.3.2	Processus permettant d'améliorer l'efficacit e.....	44
4.3.3	Analyse comparative entre les sexes plus	45
5	Conclusions et recommandations.....	46
5.1	Pertinence.....	46
5.2	Rendement.....	48
	Réponse de la direction et plan d'action	51
	Annexes.....	52
	Annexe A : Description du modèle logique du secteur d'activité Télécommunications par satellites ..	52
	Annexe B : Bibliographie	58

Liste des tableaux et des figures

Tableau 1 : Sommaire des ressources allouées au SATS	14
Tableau 2 : Répartition des entrevues menées dans le cadre de l'évaluation	20
Tableau 3 : Éléments clés de la mission M3MSat	34
Figure 1 : Programme 1.1 de l'ASC : Données, informations et services spatiaux	11
Figure 2 : Modèle de logique du SATS	16
Figure 3 : Principaux jalons de la mission M3MSat	38
Figure 4 : ETP réelles affectées aux activités du SATS par année financière	43

Acronymes utilisés dans le rapport

ACS	Analyse comparative entre les sexes
ARTES	Programme de recherche de pointe sur les systèmes de télécommunications
ASC	Agence spatiale canadienne
ASFC	Agence des services frontaliers du Canada
BLOS	Au-delà de la portée optique
BPC	Bureau de projet conjoint
CFCG	Conseil fédéral de coordination des systèmes mondiaux de navigation par satellite
COSM	Centre des opérations de la sécurité maritime
CPNS	Conseil du positionnement, de la navigation et de la synchronisation
CSARI	Centre de système d'antenne et radio intelligente
DDCM	Moniteur de chargement profond des matériaux diélectriques
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
ePOP	Sonde de mesure de l'écoulement du plasma dans le vent polaire
ETP	Équivalent temps plein
F et E	Fonctionnement et entretien
GCC	Garde côtière canadienne
GNSS	Systèmes mondiaux de navigation par satellite
GPS	Système mondial de localisation
GRC	Gendarmerie royale du Canada
HTS	Satellite à haute capacité (High Throughput Satellite)
ISDE	Innovation, Sciences et Développement économique Canada
ISRO	Organisation indienne de recherche spatiale
ISS	Station spatiale internationale
LEO	Orbite basse terrestre
MCR	Mission de la Constellation RADARSAT
MDA	MacDonald Dettwiler and Associates Ltd.
MDN	Ministère de la Défense nationale et Forces armées canadiennes

MPO	Ministère des Pêches et des Océans
NMT	Niveau de maturité technologique
OMI	Organisation maritime internationale
PBMM	Plateforme bus de microsatellite multimission
PC	Parcs Canada
PCSA-P	Projet de communications par satellite améliorées – Polar
PCW	Mission de télécommunications et de météorologie en orbite polaire
PDT	Projet de démonstration technologique
PDTS	Programme de développement des technologies spatiales
PE	Protocole d'entente
PSLV	Polar Satellite Launch Vehicle
QEYSSat	Quantum Encryption and Science Satellite
R et D	Recherche et développement
RDDC	Recherche et développement pour la défense Canada
SAR	Radar à synthèse d'ouverture
SASS	Système d'association SAR-SIA
SATS	Secteur d'activités des télécommunications par satellite
SFDB	Système à faible débit binaire
SIA	Système d'identification automatique
SPAC	Services publics et Approvisionnement Canada
SSGP	Space for Smarter Government Programme
TC	Transports Canada
UIT	Union internationale des télécommunications
UKSA	Agence spatiale du R.-U.
VITES	Vols et investigations-terrain en technologies et sciences spatiales

Résumé

Ce rapport présente les constatations de l'évaluation du secteur d'activité Télécommunications par satellite (SATS) de l'Agence spatiale canadienne (ASC). L'objectif fondamental du SATS est d'améliorer, le cas échéant, la capacité des ministères et organismes fédéraux à assurer la prestation de leurs programmes et services par la mise en œuvre de solutions spatiales. Il comprend aussi des activités de communication et de sensibilisation qui, prévoit-on, amélioreront la sensibilisation et la compréhension, dans les ministères et organismes, du potentiel des solutions spatiales dans l'appui de leurs mandats et programmes. Enfin, on s'attend à ce que le SATS améliore la capacité de l'industrie spatiale dans le domaine des télécommunications par satellite, grâce à ses participations directes à différentes phases des cycles de missions. L'évaluation couvre une période de cinq ans, du 1^{er} avril 2012 au 31 mars 2017, et examine la pertinence et le rendement du sous-programme. Tout en mettant l'accent sur les activités menées pendant la période visée, l'évaluation a également porté sur les besoins globaux des ministères et organismes fédéraux dans le domaine des télécommunications par satellite.

L'évaluation a été menée par PRA Inc., au nom de la Direction, Audit et évaluation de l'Agence spatiale canadienne (ASC), entre avril 2017 et mars 2018. L'évaluation fait partie du plan d'évaluation de cinq ans de l'ASC et a été réalisée conformément à la *Politique sur les résultats (2016)* du Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada.

Pertinence

En ce qui a trait à la pertinence, l'évaluation a constaté que l'expertise et la participation de l'ASC sont nécessaires pour veiller à ce que les ministères et organismes fédéraux puissent intégrer efficacement des solutions de télécommunications par satellite afin d'appuyer la prestation de leurs programmes et mandats. De nombreux ministères et organismes fédéraux pourraient tirer profit de l'éventail croissant de solutions de communication spatiales qui émergent du nouvel environnement spatial, mais ces ministères et organismes n'ont qu'une expertise limitée en ce qui a trait à l'évaluation et à l'adoption de ces solutions potentielles avec confiance. À titre de centre d'expertise sur les enjeux liés à l'espace, l'ASC occupe une position unique pour appuyer ces ministères et organismes alors que ceux-ci envisagent des options de communication spatiales. Pendant la période visée par l'évaluation, l'ASC n'a collaboré que sur des initiatives ciblées, surtout liées à la surveillance des signaux du Système d'identification automatique (SIA). L'élargissement accru du rôle de soutien que peut jouer l'ASC pour faciliter l'adoption de solutions de communication spatiales au sein du gouvernement fédéral répondrait à un besoin cerné au cours de cette évaluation. Il s'harmoniserait également avec la priorité globale de l'ASC qui est de faciliter la participation des ministères et organismes fédéraux à des solutions spatiales susceptibles d'améliorer leur capacité à servir les Canadiens. Par conséquent, l'évaluation recommande que :

La Direction générale de l'utilisation de l'espace explore des options en ce qui a trait au rôle que l'ASC pourrait jouer relativement à l'usage de solutions de communication spatiales par des ministères et organismes fédéraux afin d'améliorer leur capacité à assurer la prestation de leurs programmes et activités.

De plus, l'ASC joue un rôle primordial dans l'amélioration de la capacité de l'industrie spatiale canadienne à s'engager commercialement dans des activités liées aux télécommunications par satellite, particulièrement grâce à des activités de recherche et développement (R et D) et de démonstration. Cependant, certaines de ces activités dépassent le cadre du SATS. À ce titre, l'évaluation a constaté que le modèle du secteur d'activité n'est peut-être pas la structure la plus efficiente à appliquer. Au moment de publier ce rapport, l'ASC mettait en œuvre son nouveau Cadre ministériel des résultats, qui appuiera une approche plus intégrée à toutes les activités de l'ASC concernant les télécommunications par satellite. Enfin, l'évaluation a souligné la contribution importante que l'ASC peut faire afin d'appuyer les pratiques d'approvisionnement pangouvernementales susceptibles d'appuyer stratégiquement l'industrie spatiale canadienne.

Rendement

L'initiative prédominante entreprise pendant la période de l'évaluation était la mise en œuvre complète de la mission de démonstration technologique M3MSat. La mission a été amorcée en 2006, mais le satellite a été lancé en juin 2016, la mise en service complète étant achevée en mai 2017. La mission a atteint ses objectifs de démonstration, les trois charges utiles à bord ayant été testées avec succès. Depuis, la charge utile du Système d'identification automatique (SIA) a été mise en service, alors que deux autres charges utiles, soit le Moniteur de chargement profond des matériaux diélectriques (DDCM) et le Système à faible débit binaire (SFDB), n'ont pas été commercialisés et, à ce titre, n'étaient pas en service. La plateforme bus de microsatellite multimission (PBMM) servant à accueillir ces trois charges utiles a été testée avec succès, mais en l'absence de missions répétées de microsatellites, sa capacité de minimiser les dépenses non récurrentes est limitée.

Les plus grands défis qu'a dû relever la mission M3MSat étaient les retards dans l'achèvement de toutes les phases menant à l'exploitation du satellite et de ses charges utiles. Certains délais ont été causés par des modifications à la conception des instruments, particulièrement en ce qui a trait à l'antenne du SIA, alors que d'autres étaient associés au lancement du satellite. Par conséquent, des ressources financières additionnelles ont dû être investies dans la mission.

Dans l'ensemble, la mission M3MSat a permis à l'industrie canadienne d'améliorer son expertise et sa confiance dans le marché potentiel des services de SIA spatiaux et de s'engager avec succès dans ce domaine. De plus, grâce à des données et des services commerciaux de SIA, un certain nombre de ministères et organismes fédéraux ont réussi à intégrer ce type de solutions de communication spatiales dans leurs opérations.

Au cours de la période d'évaluation, l'ASC a également appuyé la démonstration de la charge utile Cascade, qui n'a pas été commercialisée, mais qui a néanmoins produit des avantages pour l'industrie spatiale qui ont depuis été appliqués à d'autres technologies de communications connexes. Enfin, la mission PCW, telle qu'elle a été conçue à l'origine, a été abandonnée. Cependant, par l'entremise de l'initiative PCSA-P, le ministère de la Défense nationale (MDN), l'ASC et d'autres ministères et organismes fédéraux collaborent maintenant afin d'explorer des façons de répondre aux besoins militaires et civils en matière de communications dans l'Arctique.

Enfin, pour améliorer les efficacités internes, l'ASC a mis en œuvre un processus de clôture de projets qui, dans le cas de la mission M3MSat, a fourni des observations détaillées et des leçons apprises concernant la mission, particulièrement du point de vue de la technologie et de la gestion interne. Le rapport de clôture joue un rôle hautement complémentaire aux constatations incluses dans le présent rapport d'évaluation.

1 Introduction

Ce document constitue le rapport final de l'évaluation du secteur d'activité Télécommunications par satellites (ci-après le SATS) de l'Agence spatiale canadienne (ASC). Il couvre une plage d'activités qui visent principalement à améliorer la capacité des ministères et organismes fédéraux à assurer la prestation de leurs programmes et services par la mise en œuvre de solutions de communication spatiales. On prévoit aussi que le SATS va améliorer l'expertise canadienne en télécommunications par satellites et la compétitivité de l'industrie spatiale canadienne dans ce domaine particulier. Comme c'est le cas de la plupart des activités auxquelles se livre l'ASC, le SATS ne fonctionne pas en silo et, à ce titre, d'autres programmes et activités de l'ASC peuvent jouer un rôle complémentaire dans l'atteinte de ces résultats anticipés.

L'évaluation couvre une période de cinq ans, du 1^{er} avril 2012 au 31 mars 2017, et elle examine la pertinence, la conception et le rendement du SATS. Elle est une exigence du plan d'évaluation quinquennal de l'ASC et elle a été menée conformément à la *Politique sur les résultats* du Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. Elle constitue la première évaluation menée sur le SATS.

L'évaluation a été menée par PRA Inc., au nom de la Direction, Audit et évaluation de l'Agence spatiale canadienne (ASC), entre avril 2017 et mars 2018.

2 Description du SATS

Cette section du rapport donne une brève description du SATS et du contexte dans lequel il s'inscrit. On y aborde les éléments clés du SATS, son modèle de gouvernance, l'allocation des ressources et les résultats attendus.

2.1 Le contexte des télécommunications par satellites

2.1.1 Les télécommunications comme catalyseur

Les systèmes satellitaires sont une option utilisée par les sociétés industrialisées pour faciliter le transfert de données ou d'information. La couverture exceptionnelle qu'ils offrent – ce qui, dans le cas de constellations de satellites, peut englober la planète entière – est une caractéristique des technologies satellitaires qui les distingue de toutes les autres formes de communication. Puisqu'elles servent à transférer de l'information ou des données, les télécommunications par satellites sont toujours développées de façon à servir à des fins plus larges et, à mesure que la technologie continue d'évoluer,

l'éventail d'activités ou d'initiatives qu'elles peuvent appuyer semble presque illimité. En n'utilisant que quelques exemples illustratifs, les télécommunications par satellites peuvent être mises en œuvre pour :

- fournir des services Internet ou téléphoniques, en reliant des individus, des communautés ou des entités, en particulier dans les régions éloignées;
- accéder à du contenu de divertissement, comme la radio ou la télévision par satellite;
- gérer ou surveiller des parcs de véhicules ou des flottes de navires;
- faciliter l'accès à l'enseignement à distance ou à la télémédecine;
- soutenir les opérations de recherche et sauvetage en améliorant les capacités de localisation;
- soutenir les opérations de sécurité publique et de sécurité nationale
- appuyer les activités de surveillance de l'environnement et de gestion des ressources nationales.

Les technologies des télécommunications par satellites sont également appelées à jouer un rôle prédominant dans le soutien de l'Internet des objets, qui ne cesse de se développer, ainsi qu'une myriade d'autres technologies.

Il existe diverses interprétations quant à l'éventail des technologies qui, en fait, relèvent du domaine des technologies des communications. Lorsqu'on considère les fins pour lesquelles elles sont utilisées, toutes les technologies qui permettent aux individus de parler au téléphone (comme les téléphones mobiles ou satellitaires), de tenir des vidéoconférences, d'échanger des courriels ou de partager des images, des données ou des vidéos seraient indéniablement considérées comme des technologies de communication. Mais qu'en est-il des systèmes mondiaux de navigation par satellites (GNSS), comme le Système mondial de localisation (GPS)? Bien qu'ils soient rendus possibles grâce aux technologies satellitaires, leur objectif principal est de faciliter la navigation et non la communication. Un autre exemple, particulièrement pertinent dans le contexte de cette évaluation, est le Système d'identification automatique (SIA), qui est utilisé pour le suivi d'objets en mouvement, notamment les navires commerciaux. Dans ce scénario, un émetteur-récepteur, placé sur un navire, émet des ondes radio contenant des informations clés, telles que le nom du navire, sa position, sa vitesse et son état de navigation. Des émetteurs-récepteurs situés sur d'autres navires, ou installés dans des systèmes terrestres ou satellitaires, peuvent alors être utilisés pour balayer, recevoir et relayer l'information contenue dans ces signaux. En tant que tel, le SIA doit-il être considéré comme une technologie de communication?

Aux fins du présent rapport, les technologies de communication par satellite sont définies dans un sens plus large, incluant les formes traditionnelles de communication, ainsi que les technologies de navigation et de surveillance telles que le SIA. Ceci est fait pour refléter les points de vue exprimés par les principaux intervenants impliqués dans le SATS, ainsi que le fait que ces technologies de navigation et de surveillance ne sont pas couvertes par d'autres secteurs d'activité de l'ASC.

2.1.2 Les télécommunications par satellites : à l'initiative du secteur public ou privé?

L'industrie privée est fortement impliquée dans la commercialisation des services de télécommunications par satellites, mais les dépenses publiques – en particulier les dépenses militaires – ont historiquement été le moteur de l'expansion de l'éventail des technologies de télécommunications par satellites déployées et de leurs applications civiles, militaires et commerciales. Le GPS est un exemple stellaire de cette double dynamique. Propriété du gouvernement des États-Unis et exploité par l'Armée de l'air américaine depuis 1974, le GPS a reçu un soutien public considérable¹ pour son développement, son amélioration et son expansion, et pourtant, il continue d'être « fourni sans frais d'utilisation directs à des fins civiles, commerciales et scientifiques pacifiques dans le monde entier » (Département de la Défense des É.-U., 2008). D'innombrables applications civiles et commerciales dépendent maintenant de l'accès aux signaux GPS.

Les exigences militaires continuent d'être le moteur des investissements publics dans les technologies de télécommunications par satellites. On estime que 80 % des dépenses gouvernementales dans les télécommunications par satellites à l'échelle mondiale visent des projets et des activités militaires (Euroconsult, 2013a, pp. 37–38, 42). Cependant, des gouvernements ont aussi utilisé des investissements publics pour améliorer les capacités de leur propre industrie spatiale, ce qui rend cette dernière concurrentielle dans les marchés commerciaux des télécommunications par satellites (Euroconsult, 2013a, p. 42). Grâce au financement pour la recherche et le développement (R et D) et des activités de démonstration, les gouvernements ont aidé à réduire les risques associés à l'exploration de nouvelles technologies et à la transition d'innovations réussie dans le marché. On examine cette dimension de façon plus approfondie à la sous-section 4.1.3 du présent rapport.

La vaste infrastructure de télécommunications spatiales produite par les investissements publics et privés soutient aujourd'hui un secteur important de l'économie canadienne. En 2014, 4,5 milliards \$ de recettes découlaient d'activités liées aux télécommunications par satellites (ASC, 2017b, p. 21). De ce montant, 2,7 milliards \$ provenaient de services de télédiffusion, qui ciblent principalement des clients non gouvernementaux, et 1,3 milliard \$ additionnels découlaient de l'exploitation de satellites et du développement d'applications et de produits, des activités principalement menées par des industries privées, elles aussi. Et le secteur pourrait connaître une croissance supplémentaire. Entre autres choses, la course actuelle visant à étendre la connectivité à large bande grâce à des systèmes satellitaires à grande capacité (HTS) en orbite géostationnaire et basse terrestre (LEO), y compris des constellations de microsattelites LEO comme ceux développés par Télésat (nécessitant plus de 100 satellites) et One-Web (qui compte 900 satellites), déclenchent d'autres investissements qui, prévoit-on, se traduiront par des recettes importantes (Télésat, 2018; OneWeb, 2018).

¹ Il semble difficile d'évaluer le niveau précis des dépenses que le gouvernement américain a alloué au GPS. Une étude réalisée en 2005 estimait que, jusque-là, le gouvernement américain avait déjà investi plus de 14 milliards \$ dans le GPS. (Pace et al., 2005).

La maturité acquise par le secteur des télécommunications par satellites, combinées aux vastes sources de recettes et aux infrastructures qui ne cessent de s'accroître, a incité de nombreux pays, dont le Canada, à réduire ses investissements publics à l'appui du secteur (Euroconsult, 2013a, p. 46).² Plus particulièrement, dans le cadre d'un examen interne de ses dépenses en 2012, l'ASC a imposé un moratoire sur toute nouvelle mission de télécommunications par satellites, cessé de financer des activités de développement technologique liées aux télécommunications par satellites dans son Programme de développement des technologies spatiales (PDTs), aujourd'hui appelé initiative Développement des technologies spatiales (DTS), et réduit ses investissements dans les programmes liés aux télécommunications par satellites offerts par l'entremise de l'Agence spatiale européenne (ASC, 2015a, p. 14, 2016b, p. 4).

2.2 Activités sectorielles

2.2.1 Survol et objectifs du SATS

L'ASC utilise le concept de « secteurs d'activités » pour structurer les différentes missions spatiales qu'elle entreprend ou auxquelles elle participe. Cela s'applique aux missions de télécommunications par satellites, ainsi qu'aux missions d'observation de la Terre ou de recherche scientifique. Pendant l'évaluation, ces différentes missions étaient regroupées sous le Programme 1.1 de l'ASC « Données, informations et services spatiaux » (ASC, 2017a), que l'on appelle aujourd'hui le Programme d'utilisation de l'espace.³ Chaque type de mission a ses propres objectifs particuliers, mais ils partagent des caractéristiques communes :

- chaque mission doit d'abord être définie et conçue, et la technologie requise doit être développée. Dans certains cas, il s'agit de la création d'un système satellitaire complet, alors que dans d'autres cas, il s'agit du développement de sous-systèmes, de charges utiles ou d'instruments placés dans des satellites nationaux ou étrangers. Comme on l'illustre à la Figure 1, ces activités sont comprises dans le sous-programme 1.1.1 « Missions de satellites en orbite terrestre et technologies connexes »;
- chaque satellite ou sous-élément exige également des infrastructures d'exploitation terrestres et une capacité de manipulation des données, qui font partie du sous-programme 1.1.2;
- enfin, on s'attend à ce que chaque mission facilite l'accès aux données spatiales et l'utilisation de ces dernières grâce à sa mise en œuvre, ce qui fait partie du sous-programme 1.1.3.

² Des exceptions importantes à cette règle sont la Russie, la Chine et l'Inde qui « considèrent leur réseau de communication par satellites comme un actif stratégique national et maintiennent le contrôle du gouvernement sur le développement, le financement et l'exploitation des systèmes grâce à la participation de la trésorerie, de l'agence spatiale et des entreprises d'État exploitant des satellites (SOSE) ». (Euroconsult, 2013b, p. 46).

³ Au moment de l'évaluation, les deux autres programmes de l'ASC étaient l'exploration spatiale et la capacité spatiale canadienne future. Depuis décembre 2017, l'ASC structure ses activités en trois grands programmes : Utilisation de l'espace, Exploration spatiale et Développement de la capacité spatiale.

Le concept d'un « secteur d'activités » sert à faire le lien entre la nature des missions entreprises et les diverses dimensions opérationnelles que toute mission satellitaire comporte habituellement. Aux fins de cette évaluation, l'accent est mis sur les missions de télécommunications par satellites, considérées dans le cadre des trois sous-programmes inclus dans la Figure 1 (voir les cellules mises en évidence). Les sous-sous-programmes 1.1.1.2 et 1.1.3.2 sont exclusifs aux missions de télécommunications, mais il faut souligner que les sous-sous-programmes 1.1.2.1 et 1.1.2.2 sont communs aux trois types de missions qu'entreprend l'ASC (observation de la Terre, communications et recherche scientifique).

Programme 1.1 de l'ASC : Données, informations et services spatiaux							
Sous-programme 1.1.1 Missions de satellites en orbite terrestre et technologies connexes			Sous-programme 1.1.2 Infrastructure terrestre		Sous-programme 1.1.3 Développement de l'utilisation des données, des images et des services spatiaux		
SSP 1.1.1.1 Missions d'observation de la Terre	SSP 1.1.1.2 Missions de télécommunications	SSP 1.1.1.3 Missions scientifiques	SSP 1.1.2.1 Exploitation de satellites (partagé)	SSP 1.1.2.2 Manipulation de données (partagé)	SSP 1.1.3.1 Utilisation des données et des images d'observation de la Terre	SSP 1.1.3.2 Utilisation des services de télécommunications	SSP 1.1.3.3 Utilisation des données scientifiques

Figure 1

Dans ce contexte, l'objectif fondamental du SATS est d'améliorer, le cas échéant, la capacité des ministères et organismes fédéraux d'assurer la prestation de leurs programmes et services en mettant en œuvre des solutions spatiales. En fonction des besoins identifiés des ministères et organismes ciblés, l'ASC, par l'entremise du SATS, supervise la mise en œuvre des missions de télécommunications par satellites, couvrant tous les cycles applicables (ASC, 2016b, p. 16) :

- le développement du concept initial (Phase 0)
- les études de faisabilité requises (phase A)
- les activités de conception, de développement et de mise en œuvre (Phases B/C/D)
- les opérations continues de la mission et l'utilisation des données (phase E)

On s'attend également à ce que des activités de communication et de sensibilisation soient entreprises afin de mieux faire connaître et comprendre, parmi les ministères et organismes concernés, le potentiel des solutions spatiales pour appuyer leur mandat et leur programmation.

Bien que la réponse aux besoins des ministères et organismes fédéraux demeure son principal objectif, le SATS devrait également améliorer la capacité de l'industrie spatiale dans le domaine des télécommunications par satellites, grâce à sa participation directe à diverses phases des cycles de mission (construction et exploitation de composantes de satellites, charges utiles, instruments et infrastructure au sol, conception de nouvelles applications de données, etc.).

2.2.2 Activités entreprises pendant la période d'évaluation

Pendant la période couverte par la présente évaluation (avril 2012 à mars 2017), les activités de l'ASC liées aux télécommunications par satellites mettaient l'accent sur trois missions.

- Microsatellite de surveillance maritime et de messagerie (M3MSat) : lancé en 2016 dans le cadre d'un projet conjoint de l'ASC et de Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC), M3MSat est un microsatellite qui transporte trois charges utiles à des fins de démonstration : un Système d'identification automatique (SIA) qui appuie la surveillance et la gestion du trafic maritime, un Système à faible débit binaire (SFDB) qui assure la continuité des données lorsque les récepteurs du SIA ne peuvent pas fournir une couverture en temps réel, et un Moniteur de chargement profond des matériaux diélectriques (DDCM) qui appuie la surveillance continue de l'énergie statique accumulée dans les satellites et en améliore le rendement et la durée de vie utile de façon globale (ASC, 2017c).
- Cascade : intégrée à titre de charge utile de démonstration de technologie de télécommunications au satellite CASSIOPE (lancé en 2013), Cascade est une « validation de principe » d'un concept opérationnel de stockage et de retransmission de données à grand volume, grâce auquel on peut téléverser de grands fichiers de données qui peuvent ensuite être livrés presque n'importe où dans le monde (ASC, 2015c).
- Mission de télécommunications et de météorologie en orbite polaire (PCW) : seules des activités limitées liées à la mission PCW ont eu lieu pendant la période couverte par l'évaluation (l'essentiel de ces activités a été mené avant la période de l'évaluation). Le but principal de la mission était de fournir des services de télécommunications fiables à haut débit binaire, 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, dans le Haut-Arctique, afin de mieux surveiller les conditions météo dans cette région et d'améliorer la surveillance des conditions spatiométéorologiques. On devait atteindre cet objectif grâce à un système de deux satellites placés sur une orbite hautement elliptique (ASC, 2014c).

Ces trois missions illustrent l'éventail de solutions spatiales appuyées pour répondre aux besoins des ministères et organismes fédéraux. Dans l'exécution de cette évaluation du SATS, les considérations ci-dessous ont orienté le traitement accordé à chacune de ces trois missions.

- Pendant la période couverte par l'évaluation, une grande proportion d'activités liées aux missions de télécommunications par satellite était consacrée à M3MSat. À ce titre, cette mission est l'objet prédominant de l'évaluation.
- L'ASC a terminé en 2014 son évaluation de la mission satellitaire CASSIOPE, qui comprend la charge utile Cascade. Un sommaire des constatations de cette évaluation a servi de source principale de données pour la documentation des activités entreprises grâce à Cascade qui sont pertinentes pour les besoins de l'évaluation (voir la sous-section 2.3 pour avoir plus de détails), et des constatations complémentaires ont aussi été recueillies pour cette évaluation.

- L'ASC n'a pas donné suite à la mission PCW au-delà de sa conception initiale, mais la mission est incluse dans la portée de l'évaluation pour illustrer davantage la portée des missions de télécommunications par satellites susceptibles d'être requises pour répondre aux besoins en information des ministères et organismes fédéraux, ainsi que pour explorer le rôle de l'ASC dans la prestation de soutien technique à d'autres ministères, comme celui de la Défense nationale et des Forces armées canadiennes (MDN), sous forme d'expertise.

L'ASC a également entrepris des travaux préliminaires (concept de mission et étude de faisabilité) sur une technologie de chiffrement avancée dans l'espace pour assurer des communications en ligne sécurisées. Ces travaux initiaux, entrepris dans le cadre du SATS, sont devenus la mission de démonstration technologique QEYSSat (Quantum Encryption and Science Satellite), annoncée officiellement en 2017-2018. Cette mission sera entreprise dans le cadre du Programme de développement de la capacité spatiale et, par conséquent, elle est à peine abordée dans cette évaluation.

Enfin, les activités de l'ASC dans le cadre du SATS comprenaient la gestion du spectre, effectuée pour assurer le spectre de fréquences nécessaire afin de surveiller et de contrôler les satellites de l'ASC, d'utiliser les instruments et les charges utiles à bord des satellites de l'ASC, de récupérer les données des satellites, et de minimiser les interférences potentielles causées par les transmissions d'autres systèmes terrestres ou spatiaux qui utilisent un spectre de fréquences semblable à celui dont se sert l'ASC.

2.2.3 Ressources du programme

Les dépenses liées au SATS étaient constituées de coûts de fonctionnement et d'entretien (F et E). Plus particulièrement, elles englobent les coûts associés aux contrats signés pour appuyer les missions de télécommunications, ainsi que les dépenses internes (salaires et opérations).

Comme on l'indique au Tableau 1, l'ASC a investi un total de 36,3 millions \$ dans des activités liées au SATS pendant les cinq années couvertes par l'évaluation. Les hypothèses ci-dessous s'appliquent à ces chiffres.

- Comme on l'a déjà signalé, les sous-sous-programmes 1.1.2.1 (Exploitation de satellites) et 1.1.2.2 (Manipulation de données) sont partagés par les trois types de missions satellitaires entreprises par l'ASC (observation de la Terre, télécommunications et recherche scientifique). Par conséquent, un tiers des dépenses totales allouées par l'ASC à ces deux sous-sous-programmes est alloué à chaque type de missions. Étant donné que ce sont des coûts génériques, ils ne sont pas inclus dans le Tableau 1.
- En plus des coûts inclus dans le Tableau 1, un tiers des dépenses liées à la gestion globale de la Direction générale de l'utilisation de l'espace est alloué au SATS. Puisque ces activités dépassent la portée de l'évaluation, leurs dépenses connexes ne sont pas indiquées au Tableau 1.
- Enfin, bien que d'autres programmes de l'ASC offrent un soutien matriciel à la mise en œuvre des activités du SATS, comme les Sciences et technologies spatiales, ces ressources ne sont pas incluses dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Sommaire des ressources allouées au SATS (en milliers de \$)

Activités	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	Total
Développement de missions (1.1.1.2)						
Nombre d'ETP*	18,6	14,0	9,3	7,8	2,2	
Contrats	300 \$	1 767 \$	4 074 \$	2 094 \$	3 292 \$	11 527 \$
Salaires	2 072 \$	1 379 \$	1 027 \$	757 \$	609 \$	5 844 \$
F et E (excluant les contrats)	577 \$	1 016 \$	197 \$	229 \$	203 \$	2 221 \$
Sous-total	2 949 \$	4 162 \$	5 297 \$	3 080 \$	4 103 \$	19 592 \$
Utilisation des services/données (1.1.3.2)						
Nombre d'ETP	2,0	0,9	1,0	1,3	1,5	
Contrats	359 \$	870 \$	3 976 \$	8 030 \$	0 \$	13 236 \$
Salaires	249 \$	97 \$	114 \$	154 \$	190 \$	804 \$
F et E (excluant les contrats)	652 \$	705 \$	336 \$	290 \$	698 \$	2 681 \$
Sous-total	1 260 \$	1 672 \$	4 427 \$	8 474 \$	889 \$	16 721 \$
TOTAL	4 210 \$	5 834 \$	9 724 \$	11 554 \$	4 992 \$	36 314 \$
* ETP : Équivalent temps plein						

Source : Données financières fournies par l'ASC

Comme on l'a déjà indiqué, aucune nouvelle mission n'a été entreprise pendant la période couverte par l'évaluation. Les dépenses du Tableau 1 sont donc associées à des missions et activités qui avaient déjà été approuvées, et à l'achat de données et services du SIA au nom du gouvernement fédéral.

2.2.4 Structures de gestion

Le Directeur général de l'Utilisation de l'espace assume la responsabilité globale des activités menées dans le SATS. Ce faisant, il respecte les politiques applicables du Secrétariat du Conseil du Trésor (ASC, 2016b, p. 9), ainsi que la *Politique de gestion des projets* et à la *Directive relative au Cadre intégré de gouvernance et de surveillance des investissements* adopté par l'ASC. Cette dernière comprend un Outil d'évaluation de la complexité et des risques des projets qui appuie l'évaluation de la nature et de la complexité de chaque projet envisagé par la Direction générale de l'utilisation de l'espace, y compris les missions de télécommunications par satellites.

Afin d'appuyer la coordination continue des activités liées à toutes les missions satellitaires, au sein du Programme d'utilisation de l'espace (observations de la Terre, télécommunications ou recherche scientifique), le Directeur général de l'Utilisation de l'espace préside le Comité de gestion de l'Utilisation de l'espace. Il incombe à chaque directeur de mettre en œuvre les décisions de ce Comité, le cas échéant.

Pour chaque projet lié au SATS, on met sur pied une équipe de projet, qui comprend un Gestionnaire de programme et un Ingénieur de systèmes. Le soutien matriciel est fourni, soit au sein de la Direction générale ou de la Direction générale des sciences et des technologies spatiales. Au besoin, les contrats externes sont gérés par le Groupe des contrats de l'ASC, avec l'aide de Services publics et

Approvisionnement Canada (SPAC). Le SATS n'utilise pas de subventions et de contributions pour mener ses activités.

2.2.5 Logique du programme

La logique du SATS est décrite dans sa Stratégie de mesure du rendement (ASC, 2016b, p. 15). Le modèle logique, qui illustre la chaîne des résultats du SATS, est présenté à la Figure 2, et une description plus détaillée de chaque élément du modèle logique figure à l'Annexe A.

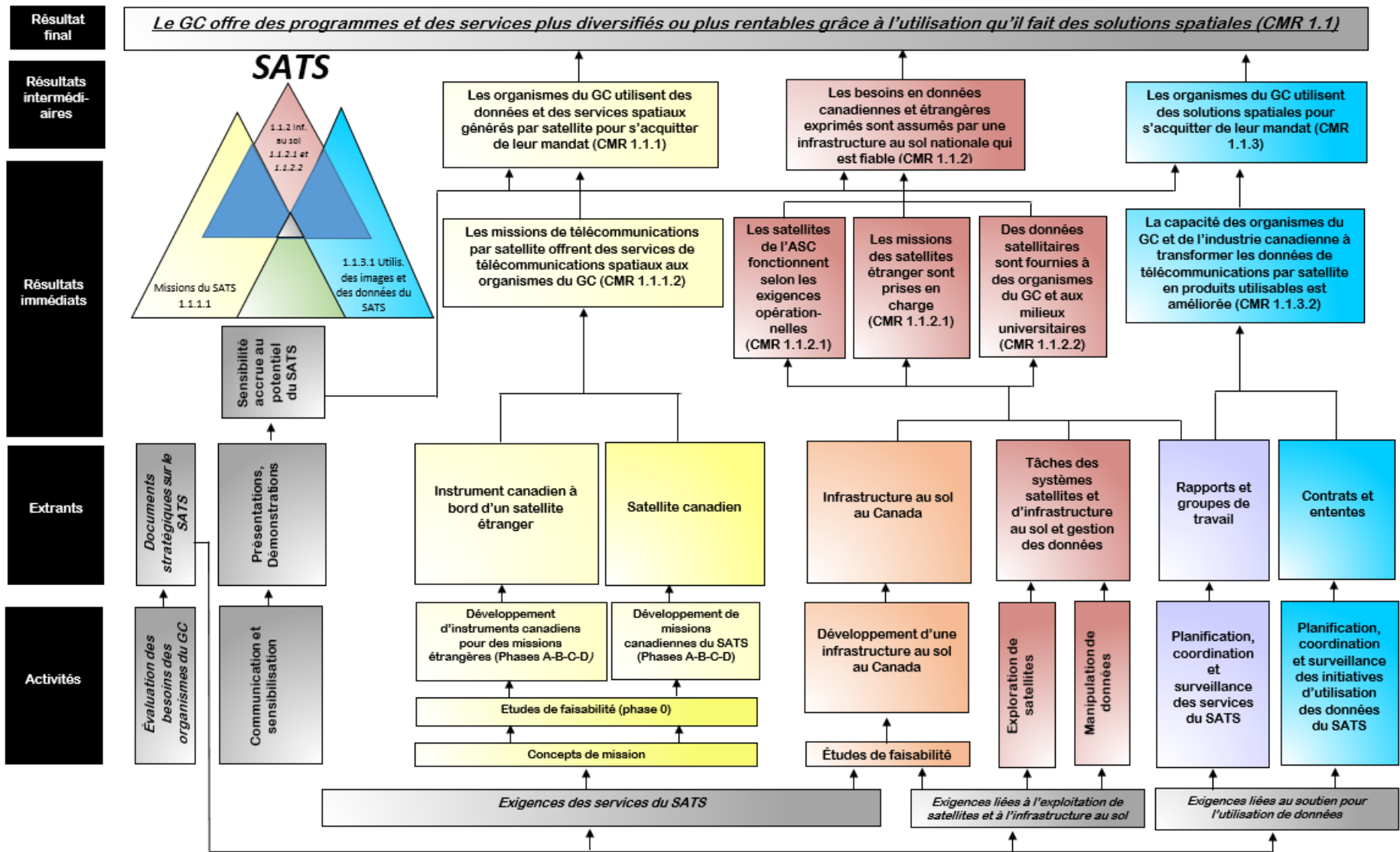


Figure 2

2.3 Évaluations antérieures et connexes

Il s'agit de la première évaluation du SATS. Une évaluation récente qui a eu un lien direct avec le SATS est celle du Programme de contribution CASSIOPE, que l'ASC a menée en 2014 (ASC, 2014b). Comme on l'a déjà souligné à la sous-section 2.2.2, l'ASC a utilisé la mission CASSIOPE pour développer la charge utile Cascade et en faire la démonstration. De plus, cette mission a servi à lancer et à exploiter la charge utile Sonde de mesure de l'écoulement du plasma dans le vent polaire (ePOP) qui fait appel à une série d'instruments pour observer l'ionosphère de la Terre, ainsi que pour recueillir des données sur les effets des tempêtes solaires et leurs impacts potentiels sur les infrastructures spatiales et terrestres (ASC, 2015c). Enfin, la mission CASSIOPE a servi à développer une plateforme satellitaire générique canadienne et à démontrer sa capacité à accueillir de multiples charges utiles.

D'après l'évaluation de CASSIOPE, au moment de la production du rapport, MacDonald Dettwiler and Associates Ltd. (MDA) avait livré tous les composants et sous-composants nécessaires pour l'assemblage de la charge utile Cascade, et la technologie avait été démontrée avec succès (ASC, 2014b, p. vi, 20). Le défi qui restait à relever pour MDA était de réussir à commercialiser la technologie Cascade. Entre la conception initiale de la mission en 2003 et le lancement du satellite CASSIOPE en 2013, on estimait que des progrès technologiques dans le domaine des télécommunications avaient réduit la portée des applications commerciales qu'un service sécurisé de livraison de fichiers numériques en mode stockage et retransmission comme Cascade serait susceptible d'offrir (ASC, 2014b, pp. 22–23).

Le rapport d'évaluation ajoute que la mission CASSIOPE a réussi à déployer la charge utile ePOP, offrant aux chercheurs des données pertinentes, en plus de confirmer la capacité de la petite plateforme satellitaire à accueillir de multiples charges utiles (ASC, 2014b, p. 21).

3 Approche et méthodes d'évaluation

Cette section du rapport contient une brève description de la méthode utilisée pour mener l'évaluation du SATS. On y clarifie l'objet et la portée de l'évaluation, et on y décrit les principaux enjeux de l'évaluation abordés et les méthodes utilisées pour recueillir les constatations de l'évaluation. Enfin, on y cerne les limites auxquelles on a été confronté pendant l'évaluation, ainsi que les stratégies qui ont permis d'atténuer ces limites.

3.1 Objet et portée

Ce rapport concrétise l'engagement inclus dans le Plan d'évaluation ministériel de l'ASC (2016-2017 à 2020-2021) en ce qui a trait à l'exécution d'une évaluation du SATS. Il couvre une période de cinq ans, de 2012-2013 à 2016-2017.

L'évaluation couvre la pertinence et le rendement du SATS. On y aborde les huit questions d'évaluation ci-dessous.

Pertinence	<ol style="list-style-type: none"> 1. Le SATS continue-t-il de répondre à un besoin démontrable? 2. Le SATS et le projet de la mission M3MSat respectent-ils les priorités du gouvernement fédéral, de l'ASC et du secteur spatial canadien? 3. Dans quelle mesure les activités entreprises par l'entremise du SATS reflètent-elles une distribution appropriée des rôles et des responsabilités en matière de solutions, de gestion et de missions de télécommunications par satellites?
Rendement (efficacité)	<ol style="list-style-type: none"> 1. La mission M3MSat a-t-elle été mise en œuvre de manière efficace? 2. La mission M3MSAT a-t-elle démontré l'expertise canadienne de façon novatrice afin de répondre efficacement aux priorités du gouvernement du Canada? 3. Le SATS a-t-il atteint ses résultats immédiats et intermédiaires? 4. Dans quelle mesure le SATS a-t-il contribué à l'atteinte de son résultat ultime? 5. Quels processus l'ASC a-t-elle mis en œuvre, le cas échéant, pour améliorer l'efficacité des activités du SATS?

3.2 Méthodes

Les données d'évaluation ont été recueillies à l'aide d'un certain nombre de méthodes de recherche, qui sont brièvement décrites dans cette sous-section.

3.2.1 Approche globale

À la lumière de la portée proposée de l'évaluation et des activités limitées qui ont été menées pendant la période d'évaluation, l'approche d'évaluation comprenait un certain nombre de méthodes qualitatives qui permettaient une triangulation appropriée des constatations, particulièrement en ce qui a trait à la pertinence du SATS. Le but était de documenter les besoins réels des intervenants ciblés, tout en

documentant et en décrivant aussi le grand contexte des missions de télécommunications par satellites lancées à des fins publiques (par opposition aux fins privées ou commerciales) au Canada et dans d'autres juridictions, le cas échéant. L'approche proposée comprenait également des méthodes quantitatives afin d'assurer une intégration efficace des données sur le rendement et des données financières sur les activités entreprises.

Pendant toute la mise en œuvre de la méthode, y compris la conception des instruments de collecte des données et l'analyse des constatations de l'évaluation, une attention particulière a été portée pour s'assurer qu'il serait possible d'évaluer correctement la mission M3MSat et de produire un rapport à ce sujet. Le but était de fournir une analyse propre à la mission, tout en s'assurant qu'elle serait liée à l'analyse de l'ensemble du SATS.

3.2.2 Examen de la documentation et de la littérature

L'examen de la documentation a éclairé toutes les questions de l'évaluation. Il a inclus l'information fournie par l'ASC sur le SATS, y compris les documents portant spécifiquement sur la mission M3MSat, ainsi que des documents fournis par d'autres intervenants, dont des ministères et organismes fédéraux en ce qui a trait à leur participation à des missions de télécommunications par satellites, ou à leurs besoins en données recueillies depuis l'espace.

En ce qui a trait plus particulièrement aux données sur le rendement, l'ASC a approuvé la stratégie de mesure du rendement du SATS en mars 2016. À ce titre, une partie des indicateurs de rendement avaient été documentés au moment de l'évaluation. L'information sur le rendement comprenait une gamme de documents opérationnels, de données administratives et de renseignements financiers.

L'examen de la littérature portait particulièrement sur la pertinence du SATS. Il couvrait le contexte canadien et les activités d'autres juridictions, selon le cas. On a effectué un balayage international d'activités de télécommunications par satellites financées par des gouvernements d'autres pays de compétence spatiale afin de mieux comprendre comment ces pays investissent dans des solutions de télécommunications par satellites (données, information et services).

3.2.3 Entrevues avec des personnes clés

Des entrevues avec des personnes clés ont contribué à la compréhension approfondie du SATS, y compris les résultats obtenus et les défis relevés par les intervenants clés. De plus, ces entrevues ont corroboré, expliqué ou approfondi davantage des constatations d'autres sources de données et fourni des données importantes sur l'atteinte ou non des résultats visés et sur les raisons de ces réussites ou échecs.

Au total, 45 entrevues d'environ une heure chacune ont été menées auprès de 58 personnes (certaines étaient collectives) de cinq groupes d'intervenants différents. Les ministères et organismes fédéraux (autres que l'ASC) ont été divisés selon leur niveau de participation dans les activités de télécommunications par satellites. Certains ministères comme le MDN font un grand usage de solutions de télécommunications spatiales, mais d'autres, comme Transports Canada, ne se sont engagés que

récemment dans ce domaine. Enfin, des entrevues ont été menées auprès de professeurs d'université qui ont travaillé à des missions de télécommunications par satellites, et ce, même s'ils ne constituent pas un groupe d'intervenants prédominant. On peut voir ci-dessous la répartition de ces entrevues.

Tableau 2 : Répartition des entrevues menées dans le cadre de l'évaluation

Groupes de répondants clés	Nombre d'entrevues	Nombre d'entrevues individuelles
Représentants de l'ASC	15	15
Autres ministères fédéraux (utilisateurs émergents)	11	13
Autres ministères fédéraux (utilisateurs établis)	5	5
Représentants de l'industrie	12	23
Universités	2	2
Total	45	58

3.2.4 Limites

Dans cette section, on décrit les limites constatées au cours de l'évaluation et la manière dont elles ont été abordées.

Portée limitée des activités

Comme on l'a déjà signalé, l'ASC a entrepris un éventail restreint d'activités liées aux télécommunications par satellites au cours de la période visée par l'évaluation. En utilisant le modèle de logique du SATS comme référence, cela s'appliquerait particulièrement aux activités que l'ASC pourrait vraisemblablement mener afin d'évaluer les besoins des ministères et organismes gouvernementaux, de communiquer et de mener des activités de sensibilisation visant à mieux faire connaître les télécommunications par satellites aux ministères et organismes, ou de coordonner l'utilisation des données obtenues grâce à ces activités. Pour cela, on a notamment mis l'accent de l'évaluation sur les besoins actuels de ce type d'activités.

Élaboration de la stratégie de mesure du rendement

La stratégie de mesure du rendement du SATS a été élaborée et approuvée en 2016. Par conséquent, les données recueillies jusqu'ici n'abordent qu'un certain nombre des indicateurs de rendement connexes. La stratégie comprend également une description mise à jour du SATS et de l'information pertinente sur la manière dont le secteur d'activité prévoit amasser des données et sur la nature des données à recueillir.

Défis liés à l'identification des intervenants qui pourraient aborder les enjeux et les questions de l'évaluation

Surtout en raison de la portée limitée des activités entreprises par le SATS, un certain nombre de personnes auxquelles on a demandé de participer à une entrevue ont refusé cette invitation parce qu'elles n'avaient pas assez d'expérience ou de connaissances en ce qui concerne le SATS pour pouvoir donner des opinions éclairées. C'était particulièrement le cas parmi les ministères et organismes fédéraux. On a partiellement résolu ce problème en posant des questions portant sur les besoins perçus en matière de

solutions de télécommunications spatiales, plutôt que sur l'expérience réelle des missions de l'ASC, comme M3MSat ou CASSIOPE (pour la charge utile Cascade).

Le sous-programme présente un intérêt manifeste pour la plupart des répondants.

On a atténué cette limite en demandant aux personnes interviewées d'expliquer leur point de vue et de donner des exemples, là où cela convenait. Pour ce qui est de l'ensemble du rapport, les constatations issues des entrevues avec les informateurs clés ont été triangulées avec celles d'autres sources de données (examen de documents, données administratives et financières, études de cas).

4 Constatations de l'évaluation

La présente section du rapport décrit les constatations de l'évaluation. On y explore premièrement la pertinence du SATS, avant de se pencher sur le rendement du SATS, en accordant une attention particulière à la mission M3MSat.

4.1 Pertinence

L'évaluation indique que les activités entreprises dans le cadre du SATS, ainsi que d'autres activités complémentaires de l'ASC, répondent à un besoin important visant à s'assurer que les ministères et organismes fédéraux peuvent s'impliquer dans des solutions de télécommunications par satellites et en tirer profit. Conformément à son mandat établi, l'ASC joue également un rôle d'appui à l'industrie spatiale canadienne dans ce marché qui évolue rapidement. Cette vision reflète les grands objectifs du gouvernement fédéral dans la promotion de l'innovation et des compétences numériques.

4.1.1 Niveau d'engagement dans les télécommunications par satellite

Constatation : Un éventail de ministères et d'organismes fédéraux profitent déjà de solutions de télécommunications spatiales. Le MDN s'est lancé dans un certain nombre d'activités et de projets spatiaux, et il prévoit élargir cet engagement. D'autres ministères et organismes fédéraux collaborent déjà à l'utilisation de données SIA pour appuyer la surveillance et le suivi du trafic maritime. **(Question d'évaluation : Pertinence n° 1)**

Avec certaines exceptions, que l'on aborde en détail dans ce rapport, chaque ministère et organisme fédéral détermine à quel point il utilisera les technologies de télécommunications par satellites afin d'appuyer la prestation de ses activités et programmes. À ce titre, il n'y a pas eu d'efforts systémiques et pangouvernementaux visant à coordonner et à faciliter l'adoption de solutions de télécommunications spatiales au sein des ministères et organismes. Dans ce contexte, l'évaluation a permis de mieux comprendre comment les technologies de télécommunications par satellites sont intégrées actuellement aux opérations de ministères et organismes fédéraux. Cependant, l'évaluation ne peut pas prétendre offrir une énumération exhaustive de toutes les instances où ces technologies se manifestent au gouvernement fédéral, car cela dépasse de loin la portée et l'objet de cette évaluation.

L'évaluation a constaté que les télécommunications par satellite ne peuvent pas toujours être considérées isolément d'autres formes de technologies satellitaires, particulièrement en ce qui a trait aux capacités d'imagerie radar comme celles de la mission RADARSAT-2. De nombreux représentants de ministères et organismes fédéraux interviewés s'intéressent surtout aux avantages réels ou potentiels des technologies satellitaires, comme la capacité de surveiller les navires, plutôt qu'à toute distinction technologique entre les technologies de navigation, de télécommunications ou d'imagerie.

Sans perdre de vue ces considérations, les sections suivantes résument les constatations de l'évaluation qui décrivent le niveau d'engagement des ministères et organismes fédéraux dans les télécommunications par satellites.

4.1.1.1 Le ministère de la Défense nationale et des Forces armées canadiennes

Quand il est question d'utilisation de l'espace, le MDN joue un rôle assez unique, que l'on pourrait positionner de manière réaliste entre celui de l'ASC et ceux des autres ministères et organismes fédéraux. Cela découle notamment du fait qu'il utilise fortement des solutions spatiales, et qu'il possède et exploite aussi des satellites (ou des composants de plateformes spatiales en orbite), un rôle qui, autrement, est réservé à l'ASC.

En 2017, le MDN a publié une version mise à jour de la Politique de défense du Canada. On y souligne notamment que « les communications par satellite sont essentielles au commandement et au contrôle des opérations militaires, surtout dans les régions reculées du Canada et dans le monde » (MDN, 2017, p. 71). Par conséquent, le Ministère prévoit investir « dans une gamme de capacités de l'espace, comme la connaissance de la situation dans l'espace, l'observation de la Terre à partir de l'espace et la connaissance du domaine maritime, ainsi que les communications par satellite qui atteignent une couverture mondiale, y compris l'Arctique » et utiliser ces capacités (MDN, 2017, p. 72). Le Ministère s'est aussi engagé à améliorer ses capacités de communications tactiques à bande étroite et large à l'échelle mondiale, y compris dans l'Arctique (MDN, 2017, p. 39). Les références systématiques à l'Arctique reflètent la priorité du gouvernement fédéral visant à assurer la surveillance et le contrôle voulus dans cette partie du territoire canadien (Gouvernement du Canada, 2015).

Pendant la période couverte par l'évaluation, le MDN a participé à un certain nombre de missions et d'activités de télécommunications par satellites. On a mis l'accent sur l'amélioration des capacités tactiques à bande étroite et large du MDN à l'appui de ses opérations militaires. Pour ce faire, on a déployé des efforts de collaboration avec des pays alliés dans le cadre du système SATCOM Mercury Global (opérationnel depuis mars 2017) (MDN, 2012, 2015; Pugliese, 2017), et mené des activités de conception de mission liées au Projet de communications par satellite améliorées – Polar (PCSA-P), qui met l'accent sur les communications à bande étroite et large dans l'Arctique, entre 65° et 90° de latitude nord (MDN, 2016a, 2016b; SPAC, 2017). Au moment d'écrire ce rapport, le MDN, en collaboration avec l'ASC, Innovation, Sciences et Développement économique Canada (ISDE) et Services publics et Approvisionnement Canada (SPAC), cherchait à obtenir des renseignements de l'industrie sur les différentes options susceptibles d'être adoptées pour le PCSA-P. On voulait faire en sorte que le nouveau

système soit opérationnel au plus tard en 2029 (SPAC, 2017, p. 13), et d'offrir la nouvelle technologie à d'autres ministères et organismes (SPAC, 2017, p. 3).

Un autre domaine prioritaire pour le MDN a été l'utilisation de données du SIA pour appuyer une plus grande capacité de connaissance de la situation maritime. Depuis que l'Organisation maritime internationale (OMI) a mis en œuvre, en 2004, ses exigences liées au SIA pour certaines catégories de navires (International Marine Organization, 2018), les organisations œuvrant dans le secteur de la sécurité nationale ont exploré des façons d'utiliser la technologie du SIA non seulement pour faire le suivi des navires et éviter des collisions, mais aussi pour assurer un plus grand contrôle et une meilleure surveillance du trafic maritime dans certaines zones stratégiques, y compris l'Arctique. Peu après, en 2006, RDDC, en collaboration avec l'ASC, a lancé la phase initiale (phase A) de la mission M3MSat (ASC et RDDC, 2007). Alors que le Canada procédait à la conception et à la mise en œuvre de sa mission portant sur le SIA, d'autres pays commençaient à adopter cette technologie. Par exemple, au cours de la même période, l'Établissement norvégien de recherche en défense a mené des travaux préliminaires sur des technologies SIA spatiales, qui ont mené au lancement de son engin spatial AISSat-1 en 2010, suivi d'ASISat-2 en 2014 (Centre spatial norvégien, 2018)⁴. Même la Station spatiale internationale (ISS) a appuyé le développement des technologies du SIA, dans le cadre d'un projet de démonstration (l'expérience Columbus AIS) mené en 2010, avec l'appui de l'Agence spatiale européenne (ESA) (ESA, 2010). Le développement de ces nouvelles technologies a été appuyé par l'industrie spatiale, qui a promptement lancé la conception et le lancement de satellites SIA commerciaux. En plus de COM DEV et d'exactEarth, des entreprises comme LuxSpace, SpaceQuest et ORBCOMM ont lancé leurs premiers services SIA satellitaires vers 2009 et 2010 (Euroconsult, 2010, p. 53).

Dans l'avenir, et en tirant profit de l'expérience acquise jusqu'ici avec le Projet Polar Epsilon et le SAAS (SAR-AIS Association System) (MDN, 2013; Vachon, Kabatoff, & Quinn, 2014), le MDN vise à combiner les données du SIA avec la technologie d'imagerie avec radar à synthèse d'ouverture (SAR) pour améliorer la surveillance et le suivi des navires. Le Projet Polar Epsilon 2, qui a été lancé en 2013 avec une mise en œuvre complète prévue en 2023 (Gouvernement du Canada, 2017b), combinera les technologies d'imagerie SAR et du SIA qui seront incluses dans la Mission de la Constellation RADARSAT (MCR), dont le lancement est prévu en 2018, pour faire le suivi en temps quasi réel de « navires d'intérêt dans les zones maritimes et arctiques du Canada et dans le cadre d'opérations expéditionnaires partout dans le monde » (Gouvernement du Canada, 2016a).⁵

Ces activités et projets différents illustrent les rôles complémentaires que jouent l'ASC et le MDN lorsqu'il est question de télécommunications par satellites. L'ASC se concentre sur l'appui aux travaux de R et D et

⁴ Il est intéressant de souligner que les plateformes satellitaires des engins spatiaux SIA norvégiens ont été construites au Canada (Norwegian Space Centre, 2018).

⁵ Même si cela dépasse le domaine des télécommunications par satellites, une autre illustration de la participation du MDN dans l'espace est la mission satellitaire Sapphire (MDN, 2014). Fondé sur un protocole d'entente (PE) signé par le MDN et l'Armée de l'air des É.-U., ce satellite fournit des données qui sont intégrées au Réseau américain de surveillance spatiale pour surveiller les débris spatiaux et d'autres objets susceptibles de menacer l'exploitation de biens spatiaux.

aux activités de démonstration, ce qui reflète le mandat législatif de l'ASC et le Cadre de la politique spatiale canadienne (ASC, 2014a, p. 11), alors que le MDN acquiert les capacités de télécommunications par satellites dont il a besoin pour appuyer ses opérations.

4.1.1.2 *Autres ministères et organismes fédéraux*

On peut faire valoir que tous les ministères et organismes fédéraux profitent, directement ou indirectement, de solutions de télécommunications spatiales, particulièrement si l'on inclut les technologies de navigation, comme le GPS. Cependant, il existe un sous-groupe de ministères et organismes qui font un usage relativement plus intense des technologies de télécommunications par satellites. Aux fins de cette évaluation, et en excluant le MDN que l'on a déjà couvert, les entités ci-dessous sont incluses dans cette sous-liste :

- Agence des services frontaliers du Canada (ASFC)
- Garde côtière canadienne (GCC)
- Ministère des Pêches et des Océans (MPO)
- Environnement et Changement climatique Canada (ECCC)
- Parcs Canada (PC)
- Gendarmerie royale du Canada (GRC)
- Transports Canada (TC)

Au cours de la période couverte par l'évaluation, ces ministères ont entrepris, avec le MDN, d'utiliser directement des données du SIA spatial. Selon une évaluation des besoins menée par l'ASC en 2015, ces ministères et organismes ont utilisé des données de SIA commerciales (acquise conjointement avec l'ASC et le MDN) pour appuyer leurs activités et mandats respectifs, particulièrement dans les domaines suivants (ASC, 2015b, p. 15) :

- la sécurité, comme la connaissance du domaine maritime, la surveillance des navires, l'évitement des collisions et les alarmes connexes;
- la défense et la sûreté, comme le contrôle des frontières, la lutte contre la contrebande et le trafic, la détection des navires qui ne se signalent pas;
- la gestion des pêches, comme la surveillance des flottes de pêche commerciale, la pêche illégale, la surveillance de la chasse aux phoques et la gestion des mammifères marins;
- la protection de l'environnement, comme la cartographie des glaces et des icebergs, la surveillance des zones protégées et la conformité aux règlements;
- les opérations de recherche et sauvetage;
- la gestion des catastrophes.

Il incombe aux trois Centres des opérations de la sûreté maritime (COSM), situés à Halifax, à Niagara et à Victoria, de recevoir et de partager les données du SIA obtenues à l'aide de capteurs terrestres et spatiaux (GCC, 2017; ASC, 2015b, p. 14). Dirigés par le MDN et la GRC, ces centres ont pour mandat de recueillir et d'analyser des données et de l'information de l'environnement marin pour cerner les menaces pour la

sûreté. Le personnel des centres est constitué d'employés du MDN, de la GRC, de l'ASFC, de TC, du MPO et de la GCC (l'ASC ne participe pas à l'exploitation de ces COSM).

Comme on l'a souligné lors des entrevues réalisées dans le cadre de la présente évaluation, l'augmentation de la capacité de combiner des données du SIA et des images SAR est un progrès particulièrement prometteur, qui pourrait être perfectionné davantage grâce à la MCR. La synchronisation accrue de ces technologies par l'entremise de la MCR a été qualifiée de « révolutionnaire », car elle améliorera la fiabilité de l'information fournie et élargira l'éventail d'applications potentielles.

Outre la technologie du SIA (et SAR), les entrevues indiquent que l'utilisation d'autres solutions de télécommunications spatiales semble assez limitée parmi les ministères et organismes fédéraux. Dans certains cas, comme à Parcs Canada, on utilise des services de téléphonie satellitaire commerciaux pour appuyer le travail des employés situés ou travaillant dans des endroits éloignés. Dans le cas de Transports Canada, on utilise des services satellitaires à large bande pour diffuser des vidéos aux premiers répondants qui participent à des activités liées à la surveillance de la navigation maritime ou aux déversements environnementaux.⁶

En résumé, l'implication des ministères et organismes fédéraux dans les technologies de télécommunications par satellites varie considérablement. Le MDN estime que ces technologies sont essentielles pour ses opérations, surtout dans l'Arctique ou dans d'autres endroits éloignés, les ministères et organismes qui se concentrent sur la surveillance et le suivi du trafic maritime ont intégré les technologies du SIA à leurs opérations et continueront d'étendre ces capacités grâce à la MCR, et d'autres ministères continuent d'explorer des façons de mettre en œuvre efficacement des solutions plus classiques axées sur la transmission de la voix et des données au moyen de services à large bande par satellite. En ce qui concerne ce dernier point, on s'attend à ce que le déploiement anticipé de constellations de microsattelites LEO offrant une connectivité à large bande à l'échelle planétaire donne aux ministères et organismes fédéraux un certain nombre d'occasions d'intégrer plus de solutions de télécommunications par satellite dans la prestation de leurs programmes et activités.⁷ L'ASC peut fournir une certaine expertise technique, mais l'Agence n'est pas impliquée systématiquement dans l'appui des ministères et organismes fédéraux à mesure que ces derniers naviguent dans ces diverses solutions spatiales.

⁶ En 2014, la technologie d'imagerie aérienne installée à bord d'aéronefs de surveillance de Transports Canada, qui dépend de satellites pour la diffusion vidéo en direct, a joué un rôle capital dans la planification et l'exécution de l'arrestation d'un individu impliqué dans un cas d'homicide très médiatisé qui a coûté la vie à trois agents de la GRC à Moncton (Friesen, 2014).

⁷ Le Budget fédéral 2018 allouait 100 millions \$ en soutien financier, par l'entremise du Fonds pour l'innovation stratégique, pour soutenir des projets liés à des constellations de microsattelites LEO, afin d'étendre l'accès à la connectivité à large bande dans des zones éloignées (Gouvernement du Canada, 2018, p. 120).

4.1.2 La participation des ministères et organismes

Constatation : Il y a eu une certaine coordination des activités entre les ministères et organismes fédéraux, mais il faut appuyer de façon plus systématique la connaissance et l'utilisation par le gouvernement fédéral de solutions de télécommunications spatiales. L'expérience de l'UKSA offre des observations pertinentes à cet égard. **(Question d'évaluation : Pertinence n° 1)**

4.1.2.1 L'expérience jusqu'ici

Les constatations de l'évaluation indiquent que l'expansion rapide des solutions de télécommunications par satellites fait qu'il est de plus en plus difficile pour les ministères et organismes fédéraux de maintenir un niveau de connaissances techniques organisationnelles qui leur permettrait de prendre des décisions bien fondées et éclairées sur les solutions les plus efficaces et les plus efficaces à adopter. Un représentant d'un organisme fédéral a résumé particulièrement bien la tendance générale qui émergeait des entrevues menées dans le cadre de l'évaluation :

« Nous ne savons pas vraiment ce qui existe; nous en apprenons en fonction de ce que nous lisons dans des articles ou par hasard. (...) Il existe un grand nombre de programmes différents, mais nous apprenons à les connaître de façon désordonnée. Je ne sais pas ce qui existe, à qui parler, ou ce que les choses peuvent coûter. »

L'émergence de la nouvelle économie spatiale exerce un effet multiplicateur sur cette dynamique. Avec l'arrivée de nouvelles options sur le marché, dans un environnement commercial qui manque beaucoup de coordination, les ministères et organismes peuvent accéder à un plus grand éventail de solutions spatiales qui pourraient bien améliorer la prestation de leurs programmes et activités, pourvu qu'ils aient la capacité de naviguer dans ces options commerciales. Actuellement, les constatations de l'évaluation indiquent qu'une telle capacité n'est pas bien établie au sein du gouvernement fédéral.

Dans ce contexte, l'évaluation a constaté un besoin de partage de connaissances et de soutien consultatif des activités au sein des ministères et organismes fédéraux concernant les options et les solutions de télécommunications par satellites. Presque tous les représentants des ministères et organismes fédéraux interviewés dans le cadre de cette évaluation ont souligné le rôle stratégique que l'ASC pourrait jouer à cet égard.

Au cours de la période couverte par l'évaluation, il y a eu une certaine coordination, particulièrement dans le domaine des technologies du SIA spatial. Comme on l'a déjà signalé, la coopération et la collaboration opérationnalisées par les trois COSM a permis une approche commune parmi les ministères et organismes participants pour l'acquisition et l'utilisation de données du SIA chez les ministères et organismes clés. Dans le même ordre d'idées, les consultations menées par l'ASC en 2015 dans le cadre de son étude sur le SIA (ASC, 2015b) ont donné une occasion de mieux comprendre comment la technologie pourrait être intégrée aux opérations de ministères et organismes fédéraux. De plus, l'ASC a financé en 2011 et 2016 des études de faisabilité qui ont exploré la gamme d'applications potentielles de données du SIA spatial au sein du gouvernement fédéral, y compris des options permettant de combiner ces données avec les

technologies d'imagerie SAR. Enfin, des discussions organisées dans le Groupe de travail interministériel sur la sûreté maritime ont également permis à des ministères et organismes clés, y compris l'ASC, de maintenir un dialogue sur les progrès et les options concernant le SIA.⁸

Dans le domaine de la navigation mondiale, Sécurité publique Canada a établi en 2011 le Conseil du positionnement, de la navigation et de la synchronisation (CPNS), anciennement appelé le Conseil fédéral de coordination des systèmes mondiaux de navigation par satellite (CFCG), afin de coordonner les efforts dans les secteurs de la détection, de la production de rapports et de l'atténuation de l'interférence avec ces systèmes, en plus des occasions et des investissements futurs liés à l'intégration de cette technologie. Le CPNS comprend l'ASC, ainsi qu'ISDE, Sécurité publique Canada, le MPO, Affaires mondiales Canada, Ressources naturelles Canada, le MDN et TC (Gouvernement du Canada, 2014).

Malgré ces efforts, les constatations de l'évaluation révèlent d'importants besoins non satisfaits en matière de soutien, particulièrement en ce qui a trait aux technologies non liées au SIA. Pendant les entrevues, des informateurs clés ont dit que l'approche actuelle était incohérente ou pratiquement inexistante. Par conséquent, les ministères et organismes ont été exposés à une multitude d'options, sans qu'ils connaissent clairement leurs besoins réels et ceux d'autres ministères et organismes avec lesquels ils pourraient potentiellement collaborer. Comme un informateur clé l'a exprimé, on a besoin que l'ASC agisse comme « intermédiaire impartial » pour les solutions de télécommunications par satellites. De plus, il n'y a qu'une capacité limitée d'entreprendre un dialogue avec l'industrie et les universités au sujet de solutions émergentes susceptibles de s'appliquer au contexte fédéral.

4.1.2.2 Les leçons apprises dans d'autres juridictions

L'évaluation a donné l'occasion d'explorer comment d'autres pays gèrent les technologies de télécommunications par satellites, particulièrement en ce qui a trait à la coordination de ces technologies pour appuyer les ministères et organismes. Dans ce processus, une initiative est clairement sortie du lot : le Space for Smarter Government Programme (SSGP) du R.-U.

Établi en 2014 et dirigé par l'Agence spatiale du Royaume-Uni (UKSA), le SSGP vise à atteindre trois objectifs précis (Agence spatiale du R.-U., 2017) :

- « l'accroissement de la sensibilisation et du nombre d'organismes du secteur public qui utilisent des services et des applications spatiales d'ici 2020;
- l'accélération de l'adoption par le secteur public d'applications et de services spatiaux pour rendre la prestation des politiques et les opérations du gouvernement plus efficaces;

⁸ Le Groupe de travail interministériel sur la sûreté maritime, établi en 2001 et présidé par Transports Canada, comprend 17 ministères et organismes, dont l'ASC, qui sont impliqués dans les enjeux de sûreté maritime ou qui s'y intéressent (Transports Canada, 2012).

- l'utilisation par le gouvernement d'applications et de services spatiaux faisant une contribution positive à l'atteinte des cibles de croissance de l'ensemble du secteur spatial du R.-U. d'ici 2030. »

Pour appuyer la mise en œuvre de ce programme, l'UKSA collabore avec Satellite Applications Catapult, un organisme sans but lucratif établi en 2013 par le gouvernement du R.-U. (par l'entremise de son agence Innovate UK) qui se spécialise dans l'accélération de l'adoption des nouvelles technologies. Il offre de l'expertise et des installations de pointe dans un éventail de secteurs liés à l'espace, y compris les télécommunications par satellites. Selon le Gestionnaire de programme du SSGP, la force fondamentale du programme découle de la combinaison de connaissances techniques et de liaisons avec l'industrie et les universités offertes par Catapult, et de l'accès aux ministères que peut assurer l'Agence spatiale du R.-U. (SSGP, 2016).

Les activités du SSGP mettent l'accent sur les trois secteurs ci-dessous (Agence spatiale du R.-U., 2017).

- *Accroître la sensibilité aux services spatiaux et satellitaires.* Pour ce faire on établit « une relation à long terme avec les ministères afin de comprendre leurs priorités et leurs besoins ». L'objectif est aussi de faciliter un dialogue continu entre le gouvernement, l'industrie et les universités. Enfin, il y a un volet de formation visant à « inspirer et à éduquer des nouveaux utilisateurs potentiels et à réfuter les mythes concernant les coûts et les aspects techniques ».
- *Améliorer l'accès aux données, à l'information et aux services.* On atteindra ce but en cernant les barrières actuelles qui limitent l'accès du gouvernement aux données et services satellitaires. Il y a aussi un engagement à établir et à tenir des catalogues centralisés de données et de cours de formation disponibles.
- *Renforcer les capacités de l'industrie et du gouvernement.* On y arrivera en organisant des concours périodiques pouvant « cerner des solutions technologiques novatrices qui répondront aux exigences du secteur public ».

L'accent est mis sur les ministères et organismes nationaux, mais le SSPG veut aussi tendre la main aux administrations locales afin d'accroître leurs propres capacités à intégrer des solutions spatiales (Trendall, 2017). Dans un rapport déposé en juin 2016, le Comité parlementaire du R.-U. sur la science et la technologie a recommandé que le mandat et le budget du SSPG soient étendus, compte tenu de la réussite du programme jusqu'alors (Comité parlementaire sur la science et la technologie, 2016).

On n'a relevé aucune autre approche systématique à la mobilisation des ministères en ce qui a trait aux solutions spatiales pendant l'examen de l'expérience de juridictions comparables au Canada.

4.1.3 L'appui à l'industrie spatiale

Constatation : Les gouvernements continuent de jouer un rôle important dans l'appui aux industries spatiales œuvrant dans le domaine des télécommunications par satellites. Le nouvel environnement spatial à vocation commerciale élargit la gamme d'applications pour les technologies de

télécommunications spatiales et l'ASC a un rôle essentiel à jouer dans l'appui à l'innovation dans ce domaine. **(Questions d'évaluation : Pertinence n^{os} 1, 2 et 3)**

4.1.3.1 *Le mandat d'appuyer l'industrie spatiale*

Selon la *Loi sur l'Agence spatiale canadienne*, l'ASC doit prendre des mesures qui font en sorte que « les Canadiens tirent profit des sciences et techniques spatiales sur les plans tant social qu'économique » (Article 4). En accomplissant ce mandat, il incombe notamment à l'ASC (Paragraphe 5 [2]) :

- « de concevoir, réaliser, diriger et gérer des programmes et travaux liés à des activités scientifiques et industrielles de recherche et développement dans le domaine spatial et à l'application des techniques spatiales;
- de promouvoir la diffusion et le transfert des techniques spatiales au profit de l'industrie canadienne;
- d'encourager l'exploitation commerciale du potentiel offert par l'espace, des techniques et installations spatiales et des systèmes spatiaux ».

Comme on l'a déjà souligné à la sous-section 2.1.2 du présent rapport, le niveau d'engagement du gouvernement fédéral à l'appui du développement de technologies de télécommunications par satellites et de la croissance du marché a diminué au cours de la période couverte par l'évaluation. Cependant, il faut mettre cette tendance dans le contexte voulu. Historiquement, le Canada a soutenu le développement et la commercialisation de technologies de télécommunications par satellites, motivé notamment par son désir de relier les communautés éparpillées sur un territoire étendu comme nul autre (ASC, 2014a; Gainor, 2012). Au cours des entrevues menées dans le cadre de cette évaluation, on a régulièrement mentionné le cas d'Anik F2 pour illustrer le rôle stratégique que joue l'ASC. Détenu et exploité par Télésat, le satellite Anik F2 est en service depuis 2004 et il offre une connexion à large bande sans fil à Internet qui appuie des services de transmission de la voix et des données, ainsi que des services de diffusion en Amérique du Nord, y compris une partie du Nord du Canada. Il s'agit du « premier satellite à commercialiser pleinement la bande de fréquences Ka » (BCE Inc., 2005). L'ASC a fourni un financement pour la démonstration de deux charges utiles (y compris le processeur intégré SpaceMux) et, en échange, l'ASC a obtenu un niveau convenu d'accès à des services à large bande.

Un autre exemple souligné lors des entrevues est l'implication actuelle de MDA dans la fourniture de sous-systèmes d'antennes de télécommunication pour la constellation LEO prévue OneWeb. En juin 2016, MDA a annoncé qu'elle fournirait à OneWeb 3 600 de ces sous-systèmes, qui seront construits dans ses installations de Montréal (MDA, 2016b). L'ASC a fourni un soutien financier à MDA dans les stades initiaux du développement de cette technologie, grâce à sa participation au programme ARTES de l'ESA.

Les constatations de l'évaluation révèlent un large consensus parmi les personnes interviewées, selon lesquelles le soutien du gouvernement, particulièrement en ce qui a trait au développement et à la démonstration de nouvelles technologies de télécommunications par satellites, est nécessaire afin de positionner favorablement l'industrie spatiale canadienne dans ce segment du marché spatial. Comme on

l'a souligné dans les entrevues, l'industrie des télécommunications par satellites évolue rapidement et exige des investissements considérables. Dans ce contexte, les industries ont tendance à investir afin d'améliorer les technologies existantes de façon incrémentielles, mais elles hésitent beaucoup plus à s'aventurer dans des solutions radicalement nouvelles.

4.1.3.2 *Les expériences dans d'autres juridictions*

En reconnaissance du fait que d'importants avantages socio-économiques peuvent découler de projets réussis de télécommunications par satellites, des gouvernements du monde entier apportent leur soutien pour atténuer les risques incontournables associés à l'innovation. L'ambitieuse Stratégie pour l'innovation et la croissance spatiale (IGS) du R.-U. illustre bien cette tendance. Mise sur pied en 2010, l'IGS a permis de mobiliser le gouvernement, les universités et l'industrie spatiale dans le secteur spatial en pleine croissance du R.-U. Dans sa mise à jour publiée en 2015, l'Agence spatiale du R.-U. a fait état d'une croissance annuelle moyenne de 8,6 % dans son industrie spatiale depuis le lancement de la stratégie en 2010, appuyée par un certain nombre d'initiatives, y compris des investissements dans des missions commerciales dans un éventail de secteurs, dont les solutions de télécommunications spatiales (Agence spatiale du R.-U., 2015, p. 4).

Pour leur part, les É.-U. ont aussi une longue histoire de financement du développement commercial de technologies de télécommunications par satellites. En 1989, un rapport du National Research Council a souligné – en ce qui a trait aux activités de recherche et développement nécessaires pour « obtenir des progrès technologiques révolutionnaires » – que « les fournisseurs et fabricants de satellites sont rarement motivés à consacrer d'importantes ressources financières à de tels investissements ». Cela, toujours d'après le rapport, était un des principaux facteurs expliquant le soutien public du développement de technologies commerciales de télécommunications par satellites. Ce même rapport a également insisté sur le fait que « tous les autres pays actifs en télécommunications spatiales accordent un soutien gouvernemental, du moins en ce qui concerne le développement de la technologie et l'aide à l'exportation » (Conseil national de recherches scientifiques, 1989, p. xv). Aujourd'hui, la NASA continue de faire de tels investissements. Dans un Avis d'offre de participation publié en 2017, la NASA a offert une aide financière pour appuyer ses objectifs stratégiques, qui consistent à « faire progresser les technologies développées commercialement susceptibles de se traduire par des avantages pour l'utilisation commerciale et gouvernementale de l'espace », à accélérer « le développement et la disponibilité de ces technologies » et à réduire « les coûts associés à leur mise en œuvre et à leur utilisation » (NASA, 2017, p. 1). Le domaine des technologies de télécommunication de pointe est un des secteurs visés particulièrement par cette initiative (NASA, 2017, p. 29).

Enfin, l'ESA reconnaît depuis longtemps la nécessité d'appuyer la recherche et le développement des technologies de télécommunications par satellites, particulièrement dans le cadre de son programme de Technologie de pointe ARTES « dédié au développement à long terme de l'industrie des télécommunications par satellites fondé sur l'initiative de l'ESA », qui « met l'accent sur la recherche et le développement de nouvelles technologies et techniques de télécommunications relatives aux satellites,

aux systèmes terrestres et à l'équipement destiné aux utilisateurs pour les systèmes futurs ou en pleine évolution » (ESA, 2018).

4.1.4 Les attentes envers le gouvernement fédéral et l'ASC

Constatation : Les intervenants clés, comme les ministères et organismes fédéraux, ainsi que l'industrie spatiale, s'attendent à ce que l'ASC continue d'être engagée activement dans les technologies de télécommunications par satellites en appuyant des activités de R et D et de démonstration, en venant en aide à d'autres ministères et organismes, et en contribuant à une approche d'approvisionnement pangouvernementale harmonisée stratégiquement de façon à appuyer le secteur spatial canadien.

(Questions d'évaluation : Pertinence n^{os} 2 et 3)

Les constatations de l'évaluation confirment que le gouvernement fédéral a un rôle important à jouer dans le domaine des télécommunications par satellites. Il faut laisser de côté toute hypothèse restante selon laquelle ce secteur essentiellement commercial des activités spatiales est assez mature pour fonctionner et croître sans soutien gouvernemental. Il faut plutôt adopter un point de vue plus équilibré qui reflète les transformations remarquables que le secteur continue de traverser. L'Agence a un rôle crucial à jouer à cet égard, mais c'est un but qui s'étend au-delà de l'ASC.

Cette vision, qui découle des constatations de l'évaluation, est aussi harmonisée avec les travaux qu'a menés récemment le Comité consultatif sur l'espace. Le ministre d'Innovation, Science Développement économique (ISDE) a demandé au Comité de consulter des intervenants au sujet d'une nouvelle stratégie spatiale et ce dernier a déposé un rapport contenant huit propositions clés soumises à l'examen du ministre (Conseil consultatif sur l'espace, 2017). Le rapport couvre tous les secteurs des activités spatiales, y compris d'importantes observations liées directement aux télécommunications par satellites.

Plus précisément, en proposant que l'espace soit désigné comme un « actif stratégique national », le Conseil a non seulement souligné le niveau d'intégration profonde qu'ont les technologies spatiales dans toutes les dimensions de la société canadienne, mais il a également signalé que, pour opérationnaliser une telle approche, il faut que tous les ministères et organismes « synchronisent les politiques et les programmes pour favoriser le développement et la croissance d'une capacité spatiale nationale capable de répondre aux besoins nationaux et d'être concurrentielle sur le marché international » (Conseil consultatif sur l'espace, 2017, p. 4).

Pour développer et faire croître cette capacité spatiale, le Conseil a parlé du soutien initial fourni dans le développement technologique et l'impact des politiques d'approvisionnement en ce qui a trait à l'acquisition de données, de services ou de biens : « Le gouvernement dispose d'un large éventail de politiques et de pratiques en matière d'approvisionnement qui pourraient être exploitées pour mieux promouvoir le développement d'entreprises spatiales concurrentielles à l'échelle internationale et d'une science de calibre mondial » (Conseil consultatif sur l'espace, 2017, p. 6).

Enfin, faisant écho aux principes contenus dans le Cadre de la politique spatiale de 2014 (ASC, 2014a, p. 11), le Conseil a proposé que le gouvernement fédéral se procure « des services spatiaux (par

opposition à la possession et à l'exploitation de systèmes spatiaux) dans la mesure du possible afin de promouvoir l'investissement du secteur privé » (Conseil consultatif sur l'espace, 2017, p. 8).

Promouvoir l'utilisation de technologies de télécommunications par satellite et stimuler la croissance de l'industrie spatiale canadienne qui contribue à ce secteur reflètent aussi les priorités du gouvernement fédéral, telles que définies dans le Plan pour l'innovation et les compétences du Canada, où l'innovation et la capacité technologiques sont définies comme des facteurs clés du positionnement du Canada dans l'économie numérique (Gouvernement du Canada, 2017a).

Pendant les entrevues menées au cours de cette évaluation, les informateurs clés ont fourni des renseignements qui s'alignent avec cette vision ou qui sont fondés sur cette dernière. Les messages clés suivants ont découlé de ces entrevues.

- Le nouvel environnement spatial transforme l'industrie, particulièrement dans le domaine des technologies de télécommunications par satellites et de leurs applications. Dans ce contexte, ce serait une erreur de penser que l'industrie spatiale des télécommunications est un secteur mature qui fonctionne essentiellement dans un environnement stable et prévisible.
- On peut faire valoir que l'émergence de constellations de satellites LEO peut redéfinir l'accès à Internet à large bande, particulièrement dans les régions éloignées, ce qui répondrait aux préoccupations de longue date quant à l'accès à des technologies de télécommunications appropriées dans ces régions, et pourrait rendre possible une gamme d'applications potentielles qui n'ont pas encore été définies, conçues, démontrées et commercialisées.
- L'ASC continue de jouer un rôle essentiel dans l'appui aux activités de recherche et développement et de démonstration dans les technologies de télécommunications par satellites, particulièrement dans le cadre du PDTS, du programme Vols et investigations-terrain en technologies et sciences spatiales (VITES), d'activités de démonstration spatiale et de sa participation au programme ARTES avec l'ESA.
- Dans certaines instances, lorsque la nouvelle technologie a surtout (ou au moins initialement) une vocation publique, où le potentiel commercial est plus restreint et que le niveau de risque reste particulièrement important, il peut être encore nécessaire que le gouvernement fédéral entreprenne des missions de télécommunications entières. Dans de tels cas, on s'attend à ce que l'ASC joue un rôle central. La mission de démonstration technologique QEYSSat mentionnée à la sous-section 2.2.2 illustre bien ce principe.
- Il y a un manque de sensibilisation et de capacité organisationnelle au sein des ministères et organismes fédéraux (à part le MDN et l'ASC) sur la meilleure façon d'intégrer les télécommunications par satellites afin d'appuyer la prestation de leurs programmes et activités. On perçoit l'ASC comme un fournisseur naturel de connaissances et un guide institutionnel capable d'appuyer la prise de décisions dans ces ministères et organismes en matière d'options de télécommunications par satellites.

- L'ensemble du gouvernement fédéral a un rôle essentiel à jouer dans l'usage de ses pratiques d'approvisionnement afin d'appuyer stratégiquement l'industrie spatiale canadienne impliquée dans les technologies de télécommunications. Ce défi dépasse largement le rôle de l'ASC, mais on s'attend à ce que l'Agence éclaire toute stratégie pangouvernementale qui appuierait l'atteinte de ce but.

Ces messages clés indiquent qu'il reste des lacunes à combler dans la coordination et l'amélioration de la capacité des ministères et organismes fédéraux à adopter de nouvelles solutions de télécommunications spatiales, et ce, en plus du rôle que l'ASC joue depuis longtemps dans le soutien aux travaux de R et D et à la démonstration de nouvelles technologies spatiales. De plus, les opinions sur le grand rôle d'approvisionnement à l'appui de l'industrie spatiale canadienne reflètent le fait que le positionnement de l'industrie dans ce domaine particulier exige une approche pangouvernementale, qui dépasse de loin le mandat de l'ASC proprement dit.

4.2 Rendement

L'évaluation du rendement du SATS au cours de la période couverte par l'évaluation est structurée sur les trois missions ou projets clés auxquels l'ASC a participé, soit la mission M3MSat, la charge utile Cascade installée dans le satellite CASSIOPE et la mission PCW. Dans chacun des cas, l'analyse tient compte du rôle attendu de l'ASC dans l'évaluation des besoins d'autres ministères et organismes fédéraux, l'appui à l'industrie spatiale canadienne, et la gestion de ces missions et projets ou l'appui à ces derniers.

4.2.1 La mission M3MSat

4.2.1.1 Aperçu de la mission

La mission M3MSat est un projet de démonstration technologique (PDT) entrepris conjointement par RDDC et l'ASC. En 2001, le MDN et l'ASC ont signé un protocole d'entente pour encadrer leur collaboration dans des activités liées à l'espace. Grâce à cet accord, les deux organisations ont mis sur pied, en 2005, un Bureau de projet conjoint (BPC) chargé d'acquérir et de livrer un premier microsatellite développé conjointement, le NEOSSat, dont l'objectif principal est de détecter et de suivre des astéroïdes et des satellites. Un an plus tard, en 2006, les deux organisations ont entrepris leur deuxième projet conjoint de microsatellite, le M3MSat.

La mission M3MSat couvre trois technologies principales qui sont décrites au Tableau 3. Les charges utiles du SIA et du SFDB sont liées plus directement aux télécommunications par satellites, alors que la mise à l'essai de la plateforme bus de microsatellite multimitations (PBMM) et la charge utile du DDCM sont davantage en lien avec l'exploitation de satellites en général.

Tableau 3 : Éléments clés de la mission M3MSat

Élément	Resp.	Fabricant	Description
Plateforme bus de microsatellite multimissions (PBMM)	ASC	COM DEV	La plateforme bus de microsatellite multimissions est une initiative de l'ASC qui appuie le développement d'une plateforme de microsatellite capable de multiples missions avec un minimum de dépenses non récurrentes. La mission NEOSat a été la première à appliquer les exigences de la PBMM.
Charge utile du SIA (primaire)	RDDC	COM DEV	La charge utile du SIA sert à capter les signaux du SIA émis par des navires dotés de transmetteurs SIA de classe A, ainsi qu'à traiter et à transmettre les données résultantes afin d'appuyer la surveillance continue de ces navires.
Charge utile du SFDB (secondaire)	ASC	COM DEV	La charge utile du SFDB offre une capacité de base de transmission de messages (non vocaux) dans les régions peu peuplées ayant peu ou pas d'accès aux systèmes de télécommunications terrestres.
DDCM (tertiaire)	ASC	DPL Science	La charge utile du DDCM mesure la charge statique dans un satellite et aide les exploitants à prendre des mesures efficaces pour préserver la santé et la sécurité de l'engin spatial.

Source : Documents administratifs de l'ASC

Lorsque la mission a été créée en 2006, on prévoyait que le MDN serait le propriétaire et l'exploitant du satellite, en plus d'être le responsable de la charge utile primaire pour les technologies du SIA. À ce titre, la mission M3MSat a été conçue pour répondre d'abord et avant tout aux besoins du MDN. Plus particulièrement, le MDN et RDDC visaient les objectifs clés suivants :

- l'appui de la surveillance accrue des côtes et des eaux canadiennes par les Forces canadiennes, y compris les régions de l'Arctique, à des fins de défense et de sûreté nationales. On s'attend à ce que les données du SIA soient partagées avec d'autres autorités canadiennes d'application de la loi actives dans le secteur de la sécurité maritime, notamment la GRC, le MPO et la Garde côtière canadienne;
- l'amélioration de la capacité à combiner l'imagerie SAR et les données du SIA, dans le cadre de la mission RADARSAT-2 et en préparation du lancement de la MCR (réduction du risque);
- l'amélioration de la capacité du MDN et de RDDC à accéder directement au SIA spatial, et ce, sans qu'ils aient à se fier sur d'autres pays alliés ou sources de données, tout en permettant les efforts de collaboration avec les pays qui explorent la contribution potentielle de solutions spatiales;
- la mise à l'essai de la capacité des microsatellites à répondre aux priorités du MDN de façon moins coûteuse, par comparaison aux missions traditionnelles faisant appel à des engins spatiaux plus gros.

L'ASC partage ces objectifs, mais elle s'intéresse particulièrement à ceux énumérés ci-dessous :

- on s'attendait à ce que la mission M3MSat constitue une occasion d'explorer davantage comment les microsattellites pourraient appuyer des missions dirigées par l'ASC. En 2003, l'ASC a lancé le microsattellite astronomique MOST, et elle a aussi collaboré avec le MDN à la mission NEOSSat. Par conséquent, M3MSat donnait à l'Agence une nouvelle occasion de mieux éclairer la prise de décisions future quant à l'utilisation de microsattellites, particulièrement du type PBMM;
- on s'attendait à ce que les trois charges utiles (SIA, SFDB et DDCM) positionnent l'industrie spatiale canadienne dans les nouvelles solutions de télécommunications spatiales ayant une valeur commerciale. Plus particulièrement, même si d'autres pays comme les É.-U., le R.-U., la Norvège et l'Australie exploraient le potentiel de services de SIA spatiaux, aucun pays n'avait réussi à démontrer cette technologie au moyen de satellites dans un environnement ayant un grand volume de signaux SIA. L'appui à la recherche et au développement de ces trois technologies, ainsi que leur démonstration réussie dans l'espace, s'aligneraient avec le mandat de l'ASC en ce qui a trait à l'appui à l'industrie spatiale canadienne;
- en plus de fournir des renseignements stratégiques pour le MDN et d'autres autorités d'application de la loi en matière de sûreté, on s'attendait aussi à ce que ces trois charges utiles appuient le mandat d'autres ministères et organismes, comme ceux qui participent à la gestion du trafic maritime, au suivi des pêches, aux opérations portuaires, aux opérations de recherche et sauvetage, et aux activités liées à l'environnement et aux changements climatiques (grâce à l'utilisation, par exemple, de capteurs environnementaux, météorologiques, acoustiques ou biologiques).

Pour ce qui est de l'échéancier, l'objectif initial consistait à lancer les activités de la phase A (définition de la mission) en 2006 et de terminer les activités de la phase D (lancement et mise en service) en 2009. On prévoyait que le satellite allait être exploité (phase E) pendant au moins 12 mois, avec une durée idéale de 24 mois.

En ce qui a trait au budget connexe, l'estimation initiale (en 2007) prévoyait que les phases A à D pourraient être achevées avec un budget de 14,4 millions \$. Cette estimation ne comprend pas les coûts liés à l'exploitation du satellite (phase E), qui peuvent varier selon la durée des opérations. Elle exclut aussi les coûts associés à l'acquisition de données du SIA provenant d'autres satellites.

4.2.1.2 La mise en œuvre et les résultats de la mission

Constatation : L'ASC et le MDN ont réussi à gérer la mission M3MSat, qui a donné des occasions de développer et de démontrer des technologies de télécommunications émergentes, y compris les données du SIA qui ont été commercialisées avec succès. Cependant, la mission a été confrontée à des défis qui ont prolongé l'échéancier initial et exigé des investissements additionnels. **(Question d'évaluation : Rendement n° 1)**

La mission M3MSat a atteint ses objectifs de démonstration, mais pour ce faire, il a fallu y consacrer plus de temps et d'investissements que prévu à l'origine.

Le 22 juin 2016, le Polar Satellite Launch Vehicle (PSLV-C34), possédé et exploité par l'Organisation indienne de recherche spatiale (ISRO), a réussi à mettre le satellite M3MSat en orbite (ASC, 2017c; ISRO, 2016). Les trois charges utiles avaient été intégrées à la plateforme PBMM et, une fois la mise en service achevée en mai 2017, chacune d'elles a été exploitée et a respecté ses exigences techniques :

- dans le cas particulier de la charge utile du SIA, le système a atteint ou dépassé les attentes. Selon les représentants de l'ASC, de l'industrie et des universités qui ont été interviewées dans le cadre de cette évaluation, le système et l'antenne du SIA installés à bord de M3MSat ont fourni certains des renseignements les plus avancés et fiables sur le mouvement des navires qui sont disponibles actuellement. Ces résultats appuient davantage l'initiative actuelle visant à intégrer le SIA et les technologies d'imagerie SAR à bord de la MCR;
- les deux autres charges utiles (SFDB et DDCM) ont été prouvées avec succès, mais elles n'ont pas été exploitées par la suite. Selon les constatations de l'évaluation, il n'y a aucune demande directe pour l'exploitation continue de ces deux charges utiles et, pour minimiser toute interférence potentielle, on a décidé de ne pas les faire fonctionner au-delà de l'étape de la démonstration.

Quant aux activités au sol nécessaires pour l'exploitation de M3MSat, le plan initial prévoyait que RDDC mènerait ces activités, mais avant même le lancement du satellite, on avait décidé que l'ASC en assurerait l'exploitation. Aucun investissement lié à de nouvelles infrastructures n'était nécessaire. À ce jour, M3MSat est exploité en parallèle avec d'autres satellites. Une équipe hybride constituée d'employés de l'ASC et de sous-traitants s'occupe de l'exploitation continue de M3MSat. Selon les constatations de l'évaluation, ces activités ont été menées avec succès.

Enfin, pour exploiter M3MSat, il fallait obtenir la licence radio voulue, conformément à la réglementation sur la radiodiffusion et les télécommunications gérée par ISDE, un processus qui comprend aussi des activités de coordination internationales exigées par l'Union internationale des télécommunications (UIT). Techniquement, il incombe au propriétaire du satellite, dans ce cas-ci le MDN, de mener les activités nécessaires de gestion du spectre, mais l'ASC a essentiellement géré ce processus, en raison de son expertise organisationnelle dans le domaine. Ce processus est long, mais il a été achevé avec succès à temps pour que M3MSat puisse transmettre dans les fréquences voulues une fois en orbite.

En plus d'appuyer des ministères et organismes fédéraux ainsi que l'industrie spatiale canadienne, la mission M3MSat a donné l'occasion au Centre de système d'antenne et radio intelligente (CSARI) de l'Université de Waterloo d'approfondir son expertise. Selon le Directeur du CSARI, le professeur Safieddin (Ali) Safavi-Naeini, il s'agissait d'une des antennes les plus complexes jamais conçues et développées par le Centre, et l'expertise acquise a déjà été appliquée à d'autres projets spatiaux (ASC, 2016c).

Le plus grand défi qu'a dû surmonter la mission M3MSat était une série de retards qui a considérablement prolongé l'échéancier de la mission. La Figure 3 illustre le temps nécessaire pour l'accomplissement de chaque phase de la mission, et les constatations de l'évaluation ont permis de recueillir les observations suivantes sur les facteurs ayant contribué à ces retards.

- Un certain nombre de modifications techniques à la PBMM et à la charge utile du SIA ont prolongé la phase de conception de la mission (phases B et C). Comme on l'a déjà signalé, on prévoyait à l'origine exploiter M3MSat pendant un maximum de 24 mois. Cependant, puisque le satellite devait fonctionner en conjonction avec d'autres satellites commerciaux, COM DEV et l'ASC ont convenu d'aller de l'avant avec un plus haut niveau de redondance (ce qu'on appelle aussi double force), ce qui est généralement exigé pour un satellite qui, prévoit-on, fonctionnera pendant plus longtemps. De plus, la conception originale de l'antenne du SIA a été révisée et remplacée par une conception plus poussée susceptible d'offrir un meilleur rendement. En pratique, cela signifiait que la mission ne pouvait plus être menée avec l'antenne originale incluse dans la proposition de projet, qui avait déjà atteint un certain niveau de maturité technologique (NMT). L'équipe a plutôt choisi d'adopter un concept de NMT 1 et a construit une nouvelle antenne. Les changements à la PBMM et à l'antenne du SIA ont retardé les phases initiales de la mission.
- Avec le temps supplémentaire requis pour la conception de M3MSat, la date prévue du lancement a été repoussée de 2009 à 2011, avant d'être révisée encore et confirmée pour février 2013. Deux autres satellites canadiens, NEOSSat et Sapphire, devaient aussi être lancés par l'ISRO en février 2013. Cependant, en raison d'un manque d'espace à bord du lanceur, seuls les satellites NEOSSat et Sapphire ont été inclus dans ce lancement. C'est alors qu'on a décidé de lancer M3MSat en faisant appel à Roscosmos, un fournisseur de services de lancement russe qui disposait d'un véhicule dont le lancement était prévu pour juin 2014. Au début de 2014, des événements imprévus ont empêché le lancement du satellite depuis la Russie, comme prévu. Après plusieurs mois de discussions et de négociations, on a retenu les services de l'ISRO et, le 22 juin 2016, le lanceur PSLV-C34 a mis 20 charges utiles en orbite, dont M3MSat. La mise en service du satellite a été achevée le 18 mai 2017 et M3MSat est en service depuis.

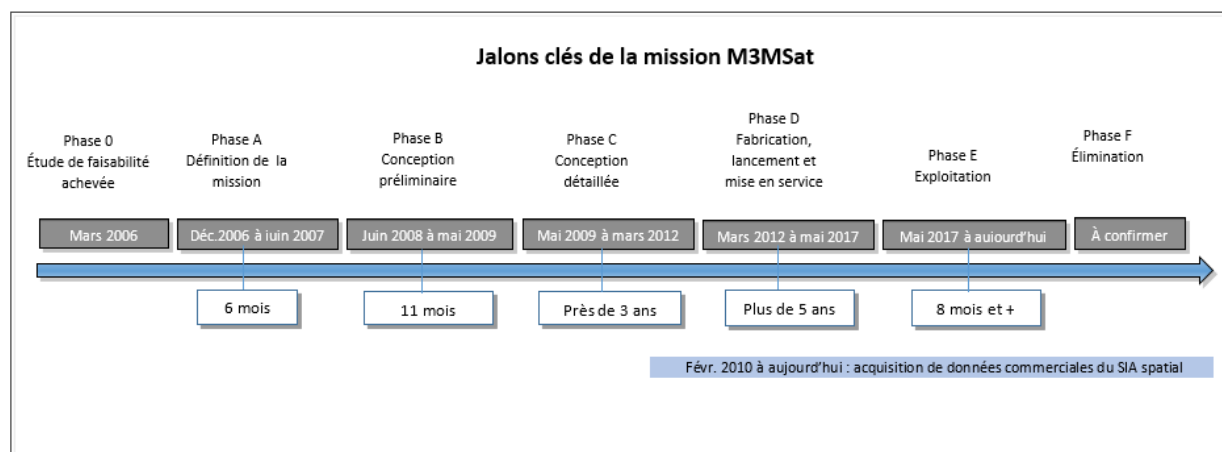


Figure 3

Les révisions et les retards quant au lancement de M3MSat ont eu des conséquences financières. Le budget total alloué pour la mission a dû être augmenté de 7 millions \$, surtout pour couvrir les dépenses liées aux nouveaux arrangements pour le lancement et aux exigences concernant le stockage et la maintenance de l'engin spatial en attendant son lancement.

4.2.1.3 L'utilisation des données du SIA

Constatations : Alors que progressait la mission M3MSat, des services de données du SIA spatial sont devenus disponibles sur le marché, y compris des services offerts par l'industrie spatiale canadienne qui avait développé une expertise pertinente grâce à sa participation initiale au concept de la mission et à l'étude de faisabilité de M3MSat. Un certain nombre de ministères et d'organismes fédéraux ont utilisé ces services pour appuyer la gestion continue de leurs services et opérations. **(Questions d'évaluation : Rendement nos 2, 3 et 4)**

Au moment même où progressait la mission M3MSat, le marché commercial de services fondés sur les données du SIA a fait son apparition. Au Canada, en tirant profit de l'expertise qu'elle a acquise dans le cadre des travaux de conception de la mission et de l'étude de faisabilité de M3MSat, COM DEV a lancé un nanosatellite capable de détecter des signaux du SIA en 2008 et, un an plus tard, soit en 2009, elle a établi une filiale, exactEarth, qui commercialise les renseignements sur la poursuite des navires à l'aide de données du SIA (exactEarth, 2015, p. 33). Cette même année, exactEarth a commencé à aider le MDN et le MPO dans l'utilisation de données du SIA spatial pour surveiller « les activités de pêche illégales, non réglementées et non déclarées dans l'océan Pacifique » (exactEarth, 2015, p. 33). Entre 2010 et 2012, exactEarth a lancé trois nouveaux satellites contenant des charges utiles du SIA pour améliorer la capacité de ses services. Parmi les différentes applications de cette nouvelle technologie, signalons le contrat signé par l'ASC et exactEarth visant la fourniture de données du SIA à l'appui des efforts déployés afin d'assurer la sécurité pendant les Jeux Olympiques d'hiver de 2010 à Vancouver. Ces données du SIA ont été combinées à de l'imagerie SAR de RADARSAT-2 afin de surveiller la région maritime autour des jeux (CISION, 2010).

Depuis 2011, par l'intermédiaire de processus d'approvisionnement concurrentiels, le gouvernement fédéral acquiert des données maritimes du SIA pour appuyer le travail des différents COSM (comme on le décrit à la sous-section 4.1.1.2). Le gouvernement a acquis ces services d'exactEarth de 2011 à 2017, avant de passer à Maerospace. Pour donner ce service, Maerospace utilise des données du SIA fournies par ORBCOMM, un fournisseur américain de telles données (ORBCOMM, 2017).

Au fil de ces événements, et comme on le décrit à la sous-section 4.1.2.1, l'ASC a entrepris des activités de coordination, dans le cadre d'une évaluation des besoins quant à l'utilisation de données du SIA, ainsi qu'une étude de faisabilité servant à explorer la gamme d'applications potentielles de données du SIA spatial au sein du gouvernement fédéral.

4.2.1.4 Amélioration des connaissances et de l'expertise

Constatation : Un certain nombre de leçons ont été retenues de la mission M3MSat, notamment en ce qui concerne l'utilisation de la PBMM et la commercialisation de nouvelles solutions spatiales. Ces leçons pourront éclairer les activités futures dans le domaine des technologies de télécommunications spatiales. **(Questions d'évaluation : Rendement nos 2, 3 et 4)**

La mission M3MSat a surtout été mise en œuvre afin de répondre aux besoins du MDN (à titre de propriétaire du satellite), mais elle a donné à l'ASC l'occasion d'approfondir ses connaissances dans des secteurs clés.

- La PBMM a réussi à accueillir les trois charges utiles, mais sa capacité à réduire les dépenses non récurrentes est limitée en raison du manque de missions répétées de microsattelites. Pour M3MSat, les exigences de la PBMM ont étendu la portée des travaux et, puisqu'aucune nouvelle mission faisant appel à cette même plateforme générique n'est prévue pour le moment, les avantages liés à cet investissement sont restreints.
- La mission a donné au secteur spatial canadien l'occasion de tester et de démontrer de nouvelles technologies. Comme dans n'importe quel processus d'innovation, la mesure dans laquelle ces nouvelles technologies pourront être commercialisées avec succès est déterminée par un certain nombre de facteurs. Dans le cas de M3MSat, la technologie du SIA a été commercialisée avec succès, alors que les technologies du SFDB et du DDCM n'ont pas encore permis d'atteindre ce résultat. Le SIA était une exigence particulière visant à répondre aux besoins du MDN (et c'était donc la charge utile principale de M3MSat), mais les technologies du SFDB et du DDCM ont été sélectionnées directement par COM DEV dans le but de les commercialiser. C'est pourquoi la décision initiale d'inclure les charges utiles du SFDB et du DDCM, ainsi que leur commercialisation potentielle, appartient à COM DEV.
- Par l'entremise des COSM, la technologie du SIA appuie un certain nombre de ministères et d'organismes fédéraux dans la prestation de leurs programmes et services. En ce sens, la mission a réussi à dépasser les exigences du client principal, le MDN, et a profité d'une plus grande exposition d'autres ministères et organismes aux avantages des solutions spatiales.

Du point de vue de RDDC et du MDN, M3MSat a partiellement atteint les buts et objectifs initiaux établis pour cette mission.

- Le concept d'un satellite appartenant au MDN et exploité par ce dernier pour recueillir des données du SIA en rapport à des activités de R et D liées à la sûreté et à la surveillance a, dans les faits, été remplacé par une stratégie d'acquisition de ce service de la part de fournisseurs commerciaux, comme exactEarth et Maerospace. La période prolongée nécessaire pour la conception et le lancement de M3MSat ont forcé le MDN à envisager d'autres solutions, et puisque des services commerciaux de données maritimes du SIA sont apparus sur le marché au début de 2009 (lorsque M3MSat était encore à l'étape de la conception), on s'est rapidement tourné vers des fournisseurs commerciaux.
- Grâce à des services de SIA commerciaux, le MDN a réussi à combiner des images SAR et des données du SIA, comme on l'a démontré pendant les jeux olympiques de 2010 à Vancouver, et cette technologie a ensuite été utilisée dans le cadre d'activités de surveillance, y compris celles menées par les trois COSM.
- Le MDN a acquis une plus grande expérience de l'utilisation de microsattellites comme modèle permettant de concevoir des solutions spatiales susceptibles de répondre à ses besoins particuliers.

Avec le recul, l'évaluation indique qu'il aurait peut-être été plus efficient de limiter la participation du gouvernement fédéral à un soutien ciblé du développement technologique et de la démonstration spatiale de charges utiles particulières, plutôt que d'aller de l'avant avec le lancement d'un satellite possédé et exploité par le gouvernement hébergeant ces charges utiles. Cependant, lors des discussions initiales en 2006, les raisons qui militaient en faveur de M3MSat étaient fondées sur des hypothèses raisonnables et incluaient des considérations plus larges liées au développement d'une plateforme de microsatellite générique.

4.2.2 La charge utile Cascade

Constatation : L'ASC a appuyé la démonstration de la charge utile Cascade, qui n'a pas été commercialisée, mais qui a néanmoins produit des avantages pour l'industrie spatiale, qui ont depuis été appliqués à d'autres technologies de télécommunications connexes. **(Questions d'évaluation : Rendement n^{os} 3 et 4)**

Comme on l'a souligné à la sous-section 2.3, la mission CASSIOPE (lancée en 2013) a démontré avec succès la technologie du service sécurisé de livraison de fichiers numériques en mode stockage et retransmission contenue dans la charge utile Cascade. Cependant, au fil des ans, MDA (par l'entremise de Cascade Data Services Inc.) n'a pas réussi à obtenir des clients commerciaux pour cette nouvelle technologie de télécommunications. Au moment de la présente évaluation, ni MDA, ni Cascade Data Services Inc. n'offrirait ce service spatial de transmission de fichiers. À ce titre, l'analyse de rentabilisation de Cascade ne s'est pas matérialisée et l'évaluation n'a trouvé aucune indication qu'elle le fera dans un avenir prévisible.

Bien que les avantages directs associés à la charge utile Cascade n'ont pas été atteints, l'évaluation indique qu'il y a eu des avantages indirects. Tout d'abord, la mission CASSIOPE a été entreprise dans une période de changements systématiques dans l'industrie spatiale, avec l'apparition d'un nouveau paradigme spatial axé sur le commerce (ASC, 2014b, p. 16). La participation financière d'ISDE (qui s'appelait alors Industrie Canada) et de l'ASC à l'appui de la démonstration de la technologie Cascade cadrait avec l'objectif industriel de maintenir et d'améliorer la capacité spatiale au Canada (Ciuriak & Curtis, 2013, p. 18; ASC, 2014b, p. 3). De plus, l'expertise technique acquise dans le cadre du projet Cascade, particulièrement en ce qui a trait à la bande Ka à grande vitesse, a été appliquée à d'autres projets, comme le contrat que l'entreprise a signé récemment avec le fabricant aérospatial franco-italien Thales Alenia Space en vue de la prestation de sous-systèmes de télécommunications pour sa constellation de satellites en orbite moyenne terrestre O3b (MDA, 2016a).

4.2.3 La Mission de télécommunications et de météorologie en orbite polaire (PCW)

Constatations : La mission PCW a été abandonnée dans sa forme initiale. Dans le cadre de l'initiative ESCP-P, le MDN, l'ASC et d'autres ministères et organismes fédéraux collaborent afin d'explorer des façons de répondre aux besoins militaires et civils dans l'Arctique. **(Questions d'évaluation : Rendement nos 3 et 4)**

Le gouvernement fédéral cherche depuis longtemps à améliorer les capacités en télécommunications dans le Nord du Canada. En 2007, l'ASC a fondé une équipe d'utilisateurs et de scientifiques PCW, à qui l'on a demandé de définir les besoins organisationnels des ministères et organismes fédéraux en matière de services de télécommunications et de météorologie dans l'Arctique (Euroconsult, 2012, p. i). C'est pourquoi l'ASC, en collaboration avec Environnement Canada⁹ et le MDN, a effectué une étude de faisabilité de phase 0, suivi d'une analyse détaillée de la mission et d'une étude de définition du concept de phase A. En 2014, SPAC a diffusé une demande de renseignements afin d'informer l'industrie canadienne de ce projet pangouvernemental proposé, pour chercher à obtenir les commentaires de l'industrie sur les exigences opérationnelles proposées et explorer des modèles de prestation potentiels (TPSGC, 2013, p. 1).

L'inclusion d'exigences liées à la météorologie et aux télécommunications dans la même mission et l'installation de technologies exploitées dans un même satellite ont soulevé un certain nombre de défis techniques, et la mise en œuvre de cette mission s'est avérée trop coûteuse. Comme on l'a déjà signalé dans la sous-section 4.1.1.1, le MDN continue d'explorer des options en vue de solutions de télécommunications spatiales susceptibles d'appuyer les fonctions de commandement et de contrôle d'opérations militaires dans l'Arctique, par l'entremise de l'initiative ESCP-P proposée. À mesure que ce projet évolue, les besoins d'autres intervenants, soit des ministères et organismes fédéraux œuvrant dans le Nord, pourraient être satisfaits dans le cadre de cette solution proposée. L'ASC continue de fournir son soutien technique dans le cadre de l'initiative ESCP-P.

⁹ Environnement Canada s'appelle maintenant Environnement et Changement climatique Canada (ECCC).

4.3 Efficience du programme

Cette dernière sous-section du rapport résume les constatations de l'évaluation concernant l'efficience de la prestation du programme. Étant donné que l'allocation des ressources pour la charge utile Cascade a eu lieu avant la période d'évaluation, que cette dernière est couverte par l'évaluation de la mission CASSIOPE (ASC, 2014b) et que la mission PCW a été abandonnée pendant cette même période, cette sous-section est axée sur la mission M3MSat.

Constatation : La majeure partie des ressources allouées au SATS ont été consacrées aux contrats signés avec l'industrie spatiale pour développer M3MSat et fournir des services commerciaux de données maritimes du SIA. L'ASC a établi un certain nombre de processus pour appuyer la gestion continue de ses activités. À l'avenir, le cadre de l'ACS+ de l'ASC pourrait faciliter la planification et la mise en œuvre d'activités liées aux technologies de télécommunications spatiales, particulièrement en ce qui a trait aux communautés isolées. **(Question d'évaluation : Rendement n° 5)**

4.3.1 Allocation des ressources

Le Tableau 1 (à la page 14) illustre la distribution des ressources financières globales allouées au SATS pendant la période de cinq ans couverte par l'évaluation. Un peu plus des deux tiers des 36,3 millions \$ alloués au SATS ont été consacrés à des dépenses contractuelles. Dans le cas du développement des missions, ces dépenses ont été presque exclusivement versées à COM DEV International (qui s'appelle maintenant Honeywell Aerospace) pour le développement et la fabrication de la plateforme du satellite et de ses composants en vue de la mission M3MSat. La participation de COM DEV a commencé en 2008, alors d'autres ressources avaient été versées à COM DEV avant la période couverte par l'évaluation. Pour ce qui est de l'utilisation des services et des données, la vaste majorité des ressources ont été versées à exactEarth, surtout pour l'achat de services de données maritimes du SIA.

Quant à l'allocation d'équivalents à temps plein (ETP) au SATS, les tendances présentées à la Figure 4 reflètent la participation décroissante de l'ASC dans les télécommunications par satellites pendant la période couverte par l'évaluation, ainsi que le retard du lancement de M3MSat qui a limité les activités au cours de cette période.

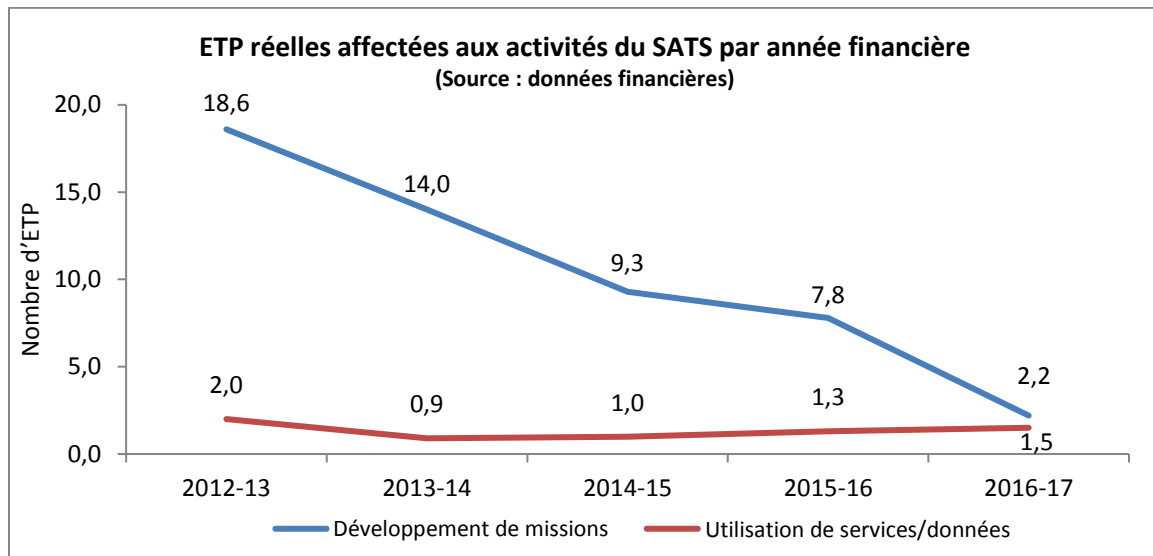


Figure 4

4.3.2 Processus permettant d'améliorer l'efficacité

L'ASC a utilisé un certain nombre de processus afin de structurer, de surveiller et de réaliser la mission M3MSat.

- Comme on l'a souligné au point 4.2.1.1, un bureau de projet conjoint a été mis sur pied afin d'appuyer la cogestion de la mission, et un accord de soutien a été signé en 2006 afin de définir davantage les rôles et les obligations de RDDC et de l'ASC pendant toute la mise en œuvre de la mission.
- Un plan commun de mise en œuvre a été dressé en 2007 pour confirmer la portée de la mission, la distribution des rôles et responsabilités, les activités à entreprendre dans chaque phase de la mission, ainsi que la gestion globale du projet et la structure de reddition de comptes.
- Toutes les activités contractuelles ont été entreprises conformément aux exigences du gouvernement fédéral et, dans le cadre de ces dernières, SPAC a dû gérer les processus d'approvisionnement et négocier tous les contrats signés au nom de l'État.

Les constatations de l'évaluation indiquent que la cogestion de la mission a été exécutée avec succès. Tout particulièrement, les représentants de l'ASC et de RDDC ont déclaré que leurs rôles avaient été bien définis et que les deux organisations ont offert de l'expertise et des connaissances complémentaires.

Comme on l'a déjà souligné, des ressources additionnelles ont dû être allouées pour que la mission puisse être accomplie entièrement. Ces ressources supplémentaires ont été obtenues et gérées conformément aux politiques et procédures fédérales applicables.

L'ASC a rédigé un rapport de clôture de projet qui donne des observations détaillées et des leçons apprises sur la mission M3MSat, tout particulièrement du point de vue de la technique et de la gestion interne, qui

comprend une série de recommandations fondées sur l'expérience de M3MSat. Ce rapport de clôture joue un rôle hautement complémentaire à celui des constatations du présent rapport d'évaluation.

4.3.3 Analyse comparative entre les sexes plus

En juillet 2016, le gouvernement fédéral a publié sa nouvelle *Politique sur les résultats* (Gouvernement du Canada, 2016c), ainsi que sa *Directive sur les résultats* connexe (Gouvernement du Canada, 2016b). Ce nouveau cadre clarifie les attentes liées à l'Analyse comparative entre les sexes plus (ACS+). Tout d'abord, il confirme que les gestionnaires de programmes doivent inclure, lorsque c'est pertinent, une analyse comparative entre les sexes lorsqu'ils établissent leurs stratégies de mesure du rendement. Il détermine aussi, comme procédure obligatoire, que toutes les évaluations doivent être planifiées en tenant compte, lorsque c'est pertinent, d'une analyse comparative entre les sexes.

En mars 2017, l'ASC a approuvé sa propre politique et ses procédures régissant l'analyse comparative entre les sexes, qui est fondée sur le concept de l'ACS+, tel que défini par Condition féminine Canada (Condition féminine Canada, 2017). Ce cadre explore « les répercussions potentielles des politiques, des programmes ou des initiatives sur divers ensembles de personnes — femmes, hommes ou autres ». En d'autres mots, l'ACS+ est un outil analytique que l'on prévoit utiliser pour appuyer tous les cycles de programmation, de la conception initiale à la mise en œuvre et à l'évaluation, afin d'assurer un accès et des avantages équitables.

Aux fins du présent rapport, il est particulièrement important de souligner la partie « Plus » de l'ACS+. En plus du sexe et du genre, l'ACS+ tient compte d'un éventail de facteurs d'identité, comme l'âge, la culture, les revenus et la géographie. Par exemple, une ACS+ pourrait explorer les répercussions (positives ou négatives) sur les communautés isolées, sans tenir compte du genre, de la mise en œuvre de programmes, politiques ou initiatives diverses.

Au cours de la période couverte par l'évaluation, la politique et les procédures de l'ASC liées à l'ACS+ n'avaient pas été mises en œuvre. Par conséquent, cette évaluation n'examine pas la mesure dans laquelle une analyse comparative entre les sexes plus appropriée a été menée dans le cadre de la gestion du SATS. Cependant, il est pertinent de noter le rôle qu'a joué l'ASC pendant la mise en œuvre du SATS, particulièrement en ce qui a trait à la mission PCW, pour s'assurer que l'on puisse répondre aux besoins en télécommunications des communautés isolées du Nord canadien. En favorisant et en appuyant l'accès à des services de télécommunications appropriés dans ces régions, dont certaines sont encore mal desservies (à cause de l'absence de services ou des coûts prohibitifs associés à ces derniers), l'ASC joue un rôle important pour s'assurer que tous les Canadiens puissent accéder à des technologies qui reflètent les exigences et les attentes de notre époque, et qu'il puissent en profiter.

Ce type de considérations reflète la nature des activités auxquelles se livre l'ASC à titre d'agence spatiale, et peut éclairer la mise en œuvre de sa politique sur l'ACS+ dans l'avenir.

5 Conclusions et recommandations

Cette section du rapport résume les constatations clés de l'évaluation, et elle contient des observations et des recommandations, le cas échéant. Des renseignements plus détaillés, étayant chacun de ces énoncés, sont inclus dans les sections précédentes du rapport.

5.1 Pertinence

L'évaluation confirme que l'expertise et la participation de l'ASC sont nécessaires pour veiller à ce que les ministères et organismes fédéraux puissent intégrer de manière efficace des solutions de télécommunications par satellite afin d'appuyer la prestation de leurs programmes et mandats. Plus particulièrement, le MDN va continuer à mener – tout comme la plupart des autres forces de défense et organisations militaires du monde entier – des activités spatiales afin de renforcer ses opérations et ses missions. La perspective et les occasions qu'offre l'espace conviennent particulièrement bien aux opérations militaires, et les technologies vont continuer à multiplier ces possibilités. D'autres ministères et organismes fédéraux qui participent à la surveillance et au suivi à grande échelle d'activités profitent également des solutions de télécommunications spatiales actuelles et émergentes.

La capacité fédérale à s'engager dans des solutions de télécommunications spatiales

Au moment de préparer ce rapport, il existait une certaine capacité au sein du gouvernement fédéral de naviguer dans les technologies de télécommunications spatiales. Le MDN participe à un certain nombre de missions spatiales et il a établi un cadre stratégique afin d'orienter le ministère dans ce domaine. Plus particulièrement, l'avenir du projet ESCP-P aura un impact considérable sur le ministère, qui pourrait aussi s'étendre à d'autres ministères et organismes. Dans le même ordre d'idées, le lancement à venir de la MCR permettra au MDN d'intégrer davantage les technologies de télécommunications et d'imagerie pour appuyer son mandat. Par l'exploitation de ses trois COSM, le MDN collabore aussi avec la GRC, l'ASFC, TC et le MPO dans l'intégration de données du SIA à leurs opérations respectives.

Malgré ces réalisations, l'évaluation confirme que des ministères et organismes fédéraux manquent toujours de capacité organisationnelle pour s'engager pleinement dans les technologies de télécommunications par satellites. En fait, les efforts pangouvernementaux entrepris de façon systématique afin d'appuyer un tel engagement sont toujours limités. L'évaluation a donné l'occasion d'explorer ce que font d'autres pays, et l'initiative SSGP du R.-U. semble particulièrement pertinente.

À mesure que le nouvel environnement spatial axé sur le commerce permet à un nombre croissant d'industries de s'engager dans les télécommunications par satellites et accroît l'éventail de solutions offertes, il y a un risque que ce plus grand nombre d'occasions crée, en fait, un environnement plus confus où l'on ne pourra mener des activités s'il n'y a pas une expertise suffisante pour éclairer la prise de décisions. À cette fin, l'ASC a un rôle indéniable à jouer pour faciliter l'adoption de solutions de télécommunications spatiales dans les ministères et organismes fédéraux. **Par conséquent, l'évaluation recommande que la Direction générale de l'utilisation de l'espace explore des options en ce qui a trait au rôle que l'ASC pourrait jouer quant à l'utilisation de solutions de télécommunications spatiales par**

les ministères et organismes fédéraux afin d'améliorer leur capacité à mener leurs programmes et activités.

Le soutien à l'industrie spatiale

À l'échelle mondiale, les gouvernements continuent d'appuyer l'industrie spatiale œuvrant dans le domaine des technologies de télécommunications. On reconnaît depuis longtemps que l'innovation dans les technologies de télécommunications par satellites comporte un niveau élevé de risque, particulièrement à la lumière des investissements financiers nécessaires. C'est pourquoi des investissements publics sont faits dans de nombreuses régions du monde afin d'appuyer la recherche et le développement, la démonstration dans l'espace et la commercialisation de nouvelles technologies. Cela s'applique à l'environnement actuel, où la connectivité à large bande est une priorité clé, particulièrement en ce qui a trait à des constellations de satellites de télécommunications LEO et d'autres formes de systèmes HTS, ce qui ouvrira la porte à d'innombrables applications commerciales, gouvernementales et civiles.

Durant la partie initiale de la période couverte par l'évaluation, l'ASC avait réduit son niveau d'appui aux activités de R et D et de démonstration liées aux télécommunications par satellites. Cette approche a été révisée au cours de la période de l'évaluation et, au moment de rédiger ce rapport, l'ASC utilisait son PDS et son financement de démonstration, ainsi que sa participation à des programmes de l'ESA, comme ARTES, afin d'appuyer des projets de télécommunications dans des secteurs spatiaux très risqués, mais novateurs. La mission QEYSSat et l'appui fourni à MDA pour le développement de sous-systèmes d'antennes en vue de la constellation LEO OneWeb planifiée illustrent bien ce type de soutien.

La mesure dans laquelle des missions complètes impliquant des satellites appartenant au gouvernement et exploités par ce dernier seront nécessaires pour répondre aux besoins des ministères et organismes, ou pour appuyer la démonstration de nouvelles technologies, sera déterminée au cas par cas. L'exploration actuelle d'options axées sur le projet ESCP-P est un de ces cas. Avec une date cible de 2029 pour l'exploitation du nouveau satellite (en supposant qu'il n'y aura pas de retard), cela soulève une fois de plus la question de déterminer quelles autres solutions commerciales auront été mises en œuvre bien avant cette date et qui pourraient répondre aux besoins des ministères et organismes.

Enfin, à mesure que le gouvernement intensifie son engagement dans les solutions de télécommunications spatiales, il faut s'assurer, dans la mesure du possible, que ses pratiques d'approvisionnement servent l'objectif stratégique d'appuyer l'industrie spatiale canadienne. L'évaluation indique qu'une vision pangouvernementale à cet égard n'a pas encore été établie.

Le modèle du secteur d'activités constitue-t-il l'approche la plus efficiente?

L'évaluation indique que le modèle du secteur d'activité offre une structure appropriée pour des missions complètes avec des satellites appartenant au gouvernement et exploités par celui-ci, comme M3MSat, mais qu'il n'est pas particulièrement bien adapté pour couvrir toute la gamme des activités que l'ASC entreprend à l'appui des solutions de télécommunications spatiales. Plus particulièrement, le PDS et le

soutien à la démonstration spatiale fournis par l'ASC, ou sa participation dans le programme ARTES, dépassent la portée du secteur d'activité. Le nouveau Cadre ministériel des résultats que l'ASC s'affairait à mettre en œuvre pendant cette évaluation met l'accent sur le développement global de la capacité spatiale et de l'utilisation de l'espace, plutôt que de se lancer dans des secteurs d'activité distincts. Cette approche appuie une perspective plus intégrée des activités liées aux télécommunications par satellite en couvrant toutes les activités pertinentes de l'ASC.

Les technologies des communications spatiales continueront d'offrir une grande variété de possibilités en matière d'applications publiques, commerciales et civiques qui appuient le type d'économie novatrice que le gouvernement fédéral souhaite développer davantage. Dans ce contexte, le modèle de gouvernance que l'ASC appliquera pour orienter sa participation et sa contribution dans ce secteur d'activités spatiales est appelé à évoluer au-delà du cadre actuel du SATS.

5.2 Rendement

La mission M3MSat

La mission M3MSat est le principal projet de télécommunications auquel l'ASC a participé pendant la période couverte par l'évaluation. Lancé conjointement en 2006 par le MDN et l'ASC, ce projet de démonstration technologique avait pour but d'appuyer la participation du Canada dans une nouvelle occasion de faire le suivi des signaux du SIA depuis l'espace, ce qui pourrait faciliter un éventail d'activités de surveillance et de poursuite maritimes qui étaient, jusqu'alors, menées exclusivement à l'aide de technologies terrestres. Plus précisément, le but était de permettre aux ministères et organismes pertinents d'intégrer cette nouvelle technologie et d'appuyer le positionnement stratégique de l'industrie spatiale canadienne dans la prestation de services de données maritimes du SIA. La mission cherchait également à faire des démonstrations liées à l'utilisation de la PBMM, ainsi qu'aux technologies du SFDB et du DDCM.

La mission M3MSat a atteint ses objectifs de démonstration. La PBMM a réussi à accueillir les trois charges utiles, chacune d'entre elles ayant été mise à l'essai avec succès. Puisqu'il n'y a pas de demande pour l'exploitation continue des charges utiles du SFDB et du DDCM, seule la technologie du SIA fonctionne depuis que la mise en service complète du satellite a été achevée en mai 2017.

Le principal défi qui s'est imposé à la mission M3MSat est la série de retards qui ont prolongé considérablement le calendrier initial de la mission. L'ASC a fait une analyse de clôture complète du projet et produit un rapport concernant un certain nombre de leçons apprises. Dans certains cas, comme la conception de la PBMM et de l'antenne du SIA, ces retards étaient essentiellement contrôlés par l'ASC et le MDN, contrairement aux problèmes liés au lancement, qui échappaient au contrôle des deux organismes. Ces retards ont accru les investissements nécessaires pour la mission.

La mission M3MSat a appuyé l'industrie canadienne en permettant d'explorer davantage des occasions liées au SIA, comme en témoignent les offres commerciales qu'exactEarth a mises sur pied en 2009 et développé depuis, y compris l'intégration des données SIA du M3MSat. Le CSARI de l'Université de

Waterloo a également acquis une expertise considérable, ce qui a positionné davantage cette institution universitaire dans les projets spatiaux.

La décision d'aller de l'avant avec un satellite de démonstration appartenant au gouvernement fédéral et exploité par ce dernier reflétait l'approche prédominante des missions de microsatellite au début de l'an 2000, d'autant plus que le modèle PBMM était mis à l'essai. Par conséquent, cette approche était fondée sur des hypothèses raisonnables. Il se peut que la même approche ne soit pas nécessaire dans le nouvel environnement spatial actuel si une telle mission devait être entreprise aujourd'hui. Un soutien plus ciblé aux activités de R et D et de démonstration serait probablement plus efficace.

Autres activités

Bien qu'elle ait été démontrée avec succès, la charge utile Cascade (intégrée à la mission CASSIOPE) n'a pas été commercialisée et rien n'indiquait, au moment de l'évaluation, que la commercialisation serait réalisée dans un avenir prévisible. Malgré ce résultat, ce projet a servi à appuyer l'industrie spatiale canadienne, et l'expertise acquise a depuis été appliquée à d'autres projets spatiaux.

Enfin, la mission PCW a continué d'évoluer au cours de la période d'évaluation, mais aucune décision n'a été prise par le gouvernement fédéral sur la meilleure façon de répondre aux besoins de télécommunications du MDN, tout en envisageant d'autres applications civiles d'une capacité de communication améliorée dans le Nord du Canada. Au moment de la rédaction du présent rapport, une demande de renseignements relative au projet ESCP-P était gérée avec l'appui de l'ASC.

Efficiences du programme

Les ressources affectées au SATS ont été principalement utilisées à des fins contractuelles à l'appui de la mise en œuvre de la mission M3MSat et de l'acquisition de données du SIA disponibles sur le marché. Le nombre d'ETP a diminué tout au long de la période d'évaluation, ce qui reflète la participation réduite de l'ASC dans les technologies des communications.

Un certain nombre de processus ont été mis en œuvre pour appuyer le travail de l'ASC, particulièrement en ce qui a trait à sa collaboration directe avec le MDN. L'ASC et le MDN ont réussi à cogérer la mission M3MSat, avec l'appui d'autres organisations comme SPAC pour appuyer le processus d'approvisionnement.

Dans le cas particulier de la mission M3MSat, un montant supplémentaire de 7 millions de dollars a été nécessaire pour achever la mission et gérer les retards accumulés tout au long de cette dernière. Comme nous l'avons déjà mentionné, une partie de ces ressources supplémentaires était nécessaire pour gérer les événements qui échappaient au contrôle de l'ASC ou du MDN.

Enfin, les solutions de télécommunications par satellites continueront de jouer un rôle essentiel pour faire en sorte que les régions isolées du Canada, en particulier certaines des collectivités nordiques canadiennes, puissent avoir accès à la gamme de technologies nécessaires pour s'engager pleinement sur

les plans économique et social, ainsi qu'aux programmes et activités du gouvernement. C'est dans le cadre de l'ACS+ que le programme peut identifier davantage les impacts différentiels des divers groupes et explorer ses options en tenant compte de ces besoins.

Réponse de la direction et plan d'action

	RESPONSABILITÉ/ ORGANISATION/ FONCTION	RÉPONSE DE LA DIRECTION	DÉTAILS DU PLAN D'ACTION	ÉCHÉANCIER
RECOMMANDATION N° 1				
La Direction générale de l'utilisation de l'espace devrait explorer les options quant au rôle que l'ASC pourrait jouer dans l'utilisation des solutions de télécommunications spatiales par les ministères et organismes fédéraux afin d'améliorer leur capacité d'exécuter leurs programmes et activités.	DG, Utilisation de l'espace Avec l'appui du DG Politiques et du DG STS	La Direction générale de l'utilisation de l'espace convient qu'il est difficile pour les ministères de choisir des options et des solutions de télécommunications par satellites. Toutefois, un certain nombre d'organismes gouvernementaux ont un rôle à jouer dans le domaine des télécommunications par satellites.	Décrire l'écosystème des télécommunications par satellites du gouvernement et présenter une analyse des lacunes dans les responsabilités avec des recommandations sur le rôle de l'ASC.	Automne 2019

Annexes

Annexe A : Description du modèle logique du secteur d'activité Télécommunications par satellites

La présente annexe fournit une description des diverses composantes du modèle logique du sous-programme, illustré à la Figure 2. Ce texte est fondé sur la stratégie de mesure du rendement du SATS.

Activités et résultats

Satellites de télécommunications et instruments canadiens

Ce groupe d'activités et d'extrants comprend les concepts de mission, les études de faisabilité (phase 0) et l'élaboration de missions canadiennes de télécommunications par satellites et d'instruments canadiens dans le cadre de missions étrangères (phases A à D).

Avant de décider qu'une idée de mission spatiale devienne un projet, des études de faisabilité sont menées afin d'établir et de valider le concept. L'étude de faisabilité visant à élaborer le concept d'un projet de télécommunications par satellites est l'objectif principal de la phase 0. Une fois achevées, les études de faisabilité de la phase A visent à mieux établir un concept qui répondrait aux besoins des organisations du gouvernement du Canada en matière de données satellitaires spatiales. Après l'achèvement des études des phases 0/A, des décisions sont prises quant à la poursuite du projet jusqu'aux phases de développement suivantes (B à D).

En date de l'exercice 2015-2016, des études de faisabilité sont en cours pour le concept de satellites de télécommunications appelés « microsattelites ». Les microsattelites sont généralement décrits comme des satellites d'une masse de 10 à 100 kg.

Après l'achèvement satisfaisant des phases 0/A, certaines missions de télécommunications par satellites passent aux phases de conception, de développement et de mise en œuvre (phases B/C/D). Le modèle stratégique actuel est représenté dans le modèle logique et montre que l'ASC peut décider de développer 1) un système satellitaire canadien complet ou 2) des sous-systèmes, des charges utiles, des instruments ou d'autres composantes à fournir à des satellites nationaux et/ou étrangers.

En date de l'exercice 2015-2016, le seul projet du SSP 1.1.1.2 Missions de télécommunications par satellites est la mission M3MSat. On s'attend à ce que M3MSat demeure l'activité principale au cours des prochaines années. Il est prévu que M3MSat sera lancé en 2016. Après le lancement, les activités opérationnelles de M3MSat relèveront du SP 1.1.2 Infrastructure au sol pour le traitement des données et du SSP 1.1.3.2 Utilisation des données et de l'imagerie par satellite pour l'utilisation de ces données. Ainsi, au cours du cycle de vie d'une mission spatiale, des études de faisabilité jusqu'à la phase opérationnelle, les responsabilités et les obligations redditionnelles sont transférées d'un groupe à un autre au sein de la Direction générale de l'utilisation de l'espace.

Infrastructure terrestre canadienne

Ce groupe d'activités et d'extrants comprend les études de faisabilité, le développement de l'infrastructure terrestre canadienne et l'infrastructure terrestre canadienne proprement dite.

Les activités d'infrastructure terrestre de télécommunications par satellites contribuent à la mise en place d'une infrastructure terrestre nationale fiable, y compris la capacité opérationnelle, afin de répondre aux besoins en données des utilisateurs de missions satellitaires. Lorsque les projets principaux entrent dans la phase D, des conseils d'experts et des recommandations sur l'exploitation des satellites et le traitement des données sont également fournis pour appuyer la phase de fabrication, de mise à l'essai et de développement des opérations en fonction de l'expérience acquise au cours des missions satellites de la phase E en cours, comme RADARSAT-1 et RADARSAT-2.

L'Exploitation des satellites gèrera les satellites en orbite en assignant les charges utiles et les segments terrestres connexes, en commandant et en contrôlant l'engin spatial, en maintenant son orbite, en analysant ses données de télémesure, en protégeant sa santé et sa sécurité, et en fournissant les données demandées aux utilisateurs. Cela comprend la gestion des bureaux de commande pour le traitement des demandes des utilisateurs et l'évitement des débris orbitaux, ainsi que l'entretien opérationnel des satellites et de l'infrastructure au sol. Les activités consistent à répondre aux besoins opérationnels des missions opérées par l'ASC. Les exigences opérationnelles concernent le maintien de l'orbite nominale de l'engin spatial et le maintien de la santé et de la sécurité de l'engin spatial, la résolution des anomalies des satellites lorsqu'elles se produisent, ainsi que l'exécution de manœuvres d'évitement des collisions au besoin.

Exploitation satellitaire et manipulation des données

Ce groupe d'activités et d'extrants comprend l'exploitation des satellites, le traitement des données, l'attribution de tâches à l'infrastructure et la gestion des données.

Le traitement des données fait référence aux activités qui sont menées afin de gérer les données utiles, de l'acquisition à la livraison, pour les missions exploitées par l'ASC et pour les missions étrangères appuyées. Cela comprend des fonctions telles que la réception, le traitement, l'archivage, le contrôle de la qualité des données et la livraison des données afin de répondre aux besoins en données du gouvernement du Canada et d'autres clients. Les données relatives au M3MSat sont archivées conformément aux exigences de la mission. De plus, les données des archives sont fournies aux utilisateurs pour répondre à leurs demandes.

Ce SSP traite également de l'optimisation de la consommation de données des télécommunications par satellites au Canada. L'objectif visé est de maintenir efficacement un équilibre entre l'offre et la demande de données satellitaires, puisqu'il existe de multiples sources, comme indiqué précédemment, de données satellitaires.

Activités d'utilisation des données de télécommunications par satellites et résultats

Les principales activités et extraits de ce SSP sont le développement de l'utilisation des données afin que les organisations du gouvernement du Canada soient en mesure d'offrir des programmes et des services plus diversifiés ou plus rentables.

Les données de télécommunications par satellites proviennent de projets établis au sein de l'ASC et d'autres données provenant de satellites commerciaux ou étrangers, accessibles par l'entremise de partenariats internationaux, afin d'accroître l'utilisation potentielle pour les organisations du GC.

Cette activité comprend, sans toutefois s'y limiter, les données fournies par les télécommunications par satellites, les systèmes de navigation par satellites et la recherche et le sauvetage depuis l'espace. Ces systèmes de communications par satellites fournissent des données pour améliorer le développement de l'utilisation des données de communications par satellites au sein du gouvernement canadien. Les données fournies par le SIA, le Système mondial de localisation (GPS) et Galileo, et le satellite de télécommunications en bande Ka pour les services publics innovateurs et avancés dans le Nord du Canada sont des exemples de données. On s'attend à ce que M3MSat, un satellite appartenant au gouvernement, soit une source de données SIA lorsqu'il sera pleinement opérationnel. Il y aura également une charge utile SIA dans chacun des trois satellites de la MCR, ce qui fournira des données SIA aux organismes du gouvernement du Canada.

Ce SSP a concentré ses activités autour des acteurs de l'industrie afin d'améliorer sa capacité à utiliser les solutions spatiales par satellite. En finançant des activités et l'accessibilité des données, cette activité appuie l'innovation et permet au secteur privé canadien de développer des applications satellitaires à l'usage des organismes du gouvernement du Canada et du secteur privé en général. Le soutien au développement d'applications fourni par ce type d'activité contribuera aussi indirectement au développement d'une industrie canadienne de l'utilisation des données satellitaires concurrentielle à l'échelle internationale.

Les ressources de ce SSP sont affectées à l'élaboration de l'utilisation des données et de l'information provenant de futures missions canadiennes. En ce qui concerne l'exercice 2015-2016, des ressources financières et humaines sont affectées aux projets liés aux données du SIA afin que les organisations du GC soient prêtes à utiliser le plein potentiel des nouvelles capacités de cette source de données.

La gestion du spectre est effectuée dans le cadre de ce SSP afin d'obtenir le spectre de fréquences nécessaire pour surveiller et contrôler les satellites de l'ASC (poursuite, télémétrie et commandement), pour utiliser les instruments/charges utiles à bord des satellites de l'ASC et pour récupérer les données précieuses des satellites jusqu'à la station au sol. De plus, la gestion du spectre permet de protéger les missions spatiales actuelles et futures de l'ASC contre les interférences nuisibles potentielles causées par les transmissions de fréquences d'autres systèmes terrestres ou spatiaux qui utilisent un spectre de fréquences semblables à celui utilisé par l'ASC.

Enfin, la participation à des groupes de travail du gouvernement du Canada et d'organismes internationaux, ainsi que la création et la gestion d'ententes et de contrats sont également des activités et des extraits de ce groupe du SSP.

Communications et sensibilisation

Le but de cette activité est de s'assurer que les organisations du gouvernement du Canada sont au courant des possibilités offertes par les produits et services spatiaux de télécommunications par satellites et qu'elles sont guidées, le cas échéant, sur la meilleure façon de tirer parti de ces possibilités. Les communications ou le rayonnement peuvent prendre plusieurs formes, mais le moyen privilégié est l'organisation de séances d'information pour faire la démonstration de produits et services spatiaux au moyen de présentations. Le nombre d'activités de sensibilisation dépend de la disponibilité des ressources humaines de l'ASC, des besoins d'information et de soutien des organisations du GC et de la maturité des produits et services spatiaux.

Résultats immédiats

Les missions de télécommunications par satellites fournissent aux organisations du GC des services de télécommunications spatiales (résultat du SSP 1.1.1.2) [Responsable : Directeur du développement de l'utilisation de l'espace]

Ce résultat immédiat résulte de la définition, de la conception, du développement technologique et de la mise en œuvre de satellites de télécommunications dédiés à la production de données ou d'informations pour les services de communications, allant des opérations de recherche et de sauvetage, des systèmes de navigation et des liaisons de communications pertinentes et opportunes contribuant à la protection et à la sécurité des vies humaines dans une vaste zone géographique. Ce résultat comprend des opérations continues et est nécessaire pour produire des données satellitaires pertinentes qui contribuent à l'exécution du mandat des organisations du gouvernement du Canada qui s'occupent surtout des priorités nationales clés, comme la sûreté et la sécurité, les ressources naturelles et l'énergie, l'environnement et les services agricoles.

Les satellites de l'ASC fonctionnent conformément aux exigences opérationnelles; les missions de satellites étrangers sont appuyées (SSP 1.1.2.1) [Responsable : Directeur, Exploitation des satellites, infrastructure et applications]

Ce résultat résulte de l'élaboration d'un système national intégré et coordonné d'infrastructures au sol pour recevoir des données de satellites nationaux ou étrangers. De plus, l'infrastructure au sol abrite et utilise l'équipement nécessaire à l'exploitation des satellites. Ce résultat est l'exploitation des satellites ainsi que la mise à disposition des données spatiales reçues par l'Agence spatiale canadienne pour aider les organismes du GC à s'acquitter de leur mandat.

Les données satellitaires sont fournies aux organisations du gouvernement du Canada et aux universités (SSP 1.1.2.2.) [Responsable : Directeur, Exploitation des satellites, infrastructure et applications]

Ce résultat comprend une approche nationale coordonnée pour établir des installations d'acquisition et de traitement des données spatiales dans leur emplacement et leurs capacités optimales. Ce résultat découle de la planification et de l'attribution des tâches liées à l'acquisition des données, ainsi que de la saisie, de l'étalonnage, de la validation, du catalogage, de l'archivage et de la disponibilité des données spatiales reçues de satellites nationaux ou étrangers pour aider les organisations du GC à s'acquitter de leur mandat. Ce résultat comprend la gestion fondée sur des données probantes de l'utilisation des données en procédant à la vérification et à la surveillance systématiques de la consommation de données par type à l'usage des organisations du GC.

La capacité des organisations du gouvernement du Canada et de l'industrie canadienne de transformer les données satellitaires en produits utilisables est améliorée [Responsable : Directeur – Développement de l'utilisation de l'espace], [Responsable : Directeur, Exploitation des satellites, infrastructure et applications] (SSP 1.1.3.2)

Ce résultat est l'utilisation des données de télécommunications par satellites acquises à partir de biens spatiaux canadiens et étrangers et comprend l'élargissement de l'applicabilité des produits spatiaux et des services par satellites actuellement disponibles (optimisation) ou la création de nouveaux produits et services par satellites (innovation) pour la communauté des utilisateurs (organisations du GC et industrie).

Sensibilisation accrue au potentiel des télécommunications par satellites

Grâce aux activités de communication et de sensibilisation menées à l'ASC, appuyées par des experts en la matière de la Direction générale de l'utilisation de l'espace, l'objectif de ce résultat immédiat fait en sorte que les organisations du GC sont conscientes de l'impact potentiel des activités des télécommunications par satellites sur leurs programmes et services. Cela se fait par la démonstration de produits et services spatiaux en faisant des présentations dans des forums techniques et non techniques.

Résultats intermédiaires

Les organismes du gouvernement du Canada utilisent les données et les services spatiaux produits par satellite pour exécuter leur mandat. (Résultat du SSP 1.1.1) [Responsable : Directeur, Développement de l'utilisation de l'espace et Directeur, Exploitation des satellites, infrastructure et applications]

Ce résultat intermédiaire découle de l'élaboration de systèmes ou de sous-systèmes satellitaires canadiens complets, de charges utiles, d'instruments ou d'autres composants fournis à des satellites canadiens et étrangers et fait en sorte que les organisations du gouvernement du Canada utilisent les données et les services générés pour exécuter leur mandat. Les activités qui mènent à ce résultat comprennent également le développement de technologies de pointe qui pourraient permettre ou déterminer la nature de nouvelles missions satellitaires potentielles afin de fournir des données et des services améliorés aux organisations du GC. Le résultat est que les organisations du GC utilisent des données et de l'information produites par satellite pour réaliser leur mandat. La capacité canadienne est également démontrée par ce résultat.

Les besoins exprimés en données canadiennes et étrangères sont comblés par une infrastructure terrestre nationale fiable (CMR 1.1.2) [Responsable : Directeur, Exploitation des satellites, infrastructure et applications]

Ce résultat intermédiaire est le développement d'un système national intégré et coordonné d'infrastructure au sol pour recevoir des données de satellites nationaux ou étrangers. De plus, l'infrastructure au sol abrite et utilise l'équipement nécessaire à l'exploitation des satellites. Ce résultat est la capacité d'exploiter des satellites et de traiter et de rendre disponibles les données spatiales reçues par l'Agence spatiale canadienne pour aider les organisations du GC dans l'exécution de leur mandat.

Les organisations du gouvernement du Canada utilisent des solutions spatiales pour s'acquitter de leur mandat (CMR 1.1.3) [Responsable : Directeur, Exploitation des satellites, infrastructure et applications]

Ce résultat intermédiaire est le développement de l'utilisation des données et de l'information spatiales et des services de communications disponibles sur les biens spatiaux au profit de la communauté des utilisateurs, principalement les organisations du GC. Il en résulte une augmentation de la capacité des organisations du GC d'utiliser des solutions spatiales (applications, modèles, algorithmes) pour la réalisation de leur mandat et pour favoriser le développement d'une industrie canadienne à valeur ajoutée. Cette activité s'est traditionnellement concentrée sur les missions de l'ASC.

Résultats finaux

Le GC offre des programmes et des services plus diversifiés ou plus rentables en raison de l'utilisation de solutions spatiales (CMR 1.1) [Responsable : DG Utilisation de l'espace]

Le résultat final de la division des Télécommunications par satellites est de fournir des solutions spatiales (données, informations et services) et de favoriser la progression de leur utilisation. Il sert également à installer et à faire fonctionner l'infrastructure au sol qui traite les données et exploite les satellites. Ce programme utilise des solutions spatiales pour aider les organisations du gouvernement du Canada à offrir des programmes et des services croissants, diversifiés ou rentables dans le cadre de leur mandat, qui est lié à des priorités nationales clés, comme la souveraineté, la défense, la sûreté et la sécurité et la protection des intérêts canadiens dans le Nord.

Annexe B : Bibliographie

- BCE Inc. (2005, March 24). Telesat pioneers next-generation EMS technology on Anik F2 satellite. Récupéré à l'adresse <http://www.bce.ca/news-and-media/releases/show/telesat-pioneers-next-generation-ems-technology-on-anik-f2-satellite>
- GCC. (2017, 14 décembre). Centres des opérations de la sûreté maritime (COSM). Récupéré à l'adresse <http://www.ccg-gcc.gc.ca/fra/GCC/Surete-maritime/COSM>
- CISION. (2010, June 9). exactEarth space-based AIS data makes contribution to security efforts for 2010 Olympics and Paralympics. Récupéré à l'adresse <https://www.newswire.ca/news-releases/exactearth-space-based-ais-data-makes-contribution-to-security-efforts-for2010-olympics-and-paralympics-544186182.html>
- Ciuriak, D., & Curtis, J. M. (2013). The Resurgence of Industrial Policy and What it Means for Canada. *IRRP Insight*, 2. Récupéré à l'adresse <http://irpp.org/research-studies/insight-no2/>
- ASC. (2014a). *Cadre de la politique spatiale du Canada : l'envol de la prochaine génération*. Saint-Hubert. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/pdf/fra/publications/politique-spatiale/cadre-de-la-politique-spatiale-du-canada.pdf>
- ASC. (2014b). *Évaluation du Programme de contributions CASSIOPE*. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/publications/re-1314-0201.asp>
- ASC. (2014c, 20 juin). Mission de télécommunications et de météorologie en orbite polaire (PCW). Récupéré à l'adresse http://www.asc-csa.gc.ca/fra/recherche/video/regarder.asp?v=1_fg0jw1se
- ASC. (2015a). *Évaluation du Programme d'accès aux marchés internationaux (incluant le Programme de contribution à l'Agence spatiale européenne) de l'Agence spatiale canadienne*. Saint-Hubert. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/publications/re-1415-0202.asp>
- CSA. (2015b). *Space-Based Automatic Identification System (S-AIS) in Canada: Final Report*. St-Hubert.
- ASC. (2015c, 25 mars). CASSIOPE : observer la météo spatiale au moyen d'un satellite hybride. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/satellites/cassiope.asp>
- ASC. (2016a). *Rapport ministériel sur le rendement 2015-2016*. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/pdf/eng/publications/pr-2016.pdf>
- CSA. (2016b). Performance Measurement Strategy - Satellite Communications Missions Business Line.
- ASC. (2016c, 21 juin). Bâtir la prochaine génération d'antennes spatiales. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/blogue/2016/06/21/batir-la-prochaine-generation-d-antennes-spatiales.asp>
- ASC. (2017a). *Plan ministériel - Sous et sous-sous programmes 2017-2018*. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/pdf/eng/publications/dp-2017-2018-sub-programs.pdf>

- ASC. (2017b). *État du secteur spatial canadien en 2014*. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/publications/2014-etat-secteur-spatial-canadien.asp>
- ASC. (2017c, 18 mai). *Microsatellite de surveillance maritime et de messagerie (M3MSat)*. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/satellites/m3msat/default.asp>
- CSA, & DRDC. (2007). *Maritime Monitoring & Messaging Micro-Satellite (M3MSat) Project: Joint Implementation Plan (JIP)*.
- MDN. (2012, 17 janvier). *Participation du Canada au Système mondial de communications par satellite à large bande (WGS)*. Récupéré à l'adresse <http://www.forces.gc.ca/fr/nouvelles/article.page?doc=participation-du-canada-au-syst-egrave-me-mondial-de-communications-par-satellite-agrave-large-bande-wgs/hgq87xyn>
- MDN. (2013, 7 novembre). *Projet polar epsilon*. Récupéré à l'adresse <http://www.forces.gc.ca/fr/nouvelles/article.page?doc=projet-polar-epsilon/hnps1uo5>
- MDN. (2014, 30 janvier). *Connaissance de la situation dans l'espace et le satellite Sapphire*. Récupéré à l'adresse <http://www.forces.gc.ca/fr/nouvelles/article.page?doc=connaissance-de-la-situation-dans-l-espace-et-le-satellite-sapphire/hr0e3oag>
- MDN. (2015, 12 mars). *Mercury Global – Terminaux stratégiques déployable*. Récupéré à l'adresse <http://www.forces.gc.ca/fr/faire-affaires-guide-acquisition-de-la-defense-2015/systemes-joints-178.page>
- DND. (2016a). *Strategic Context Document: Enhanced Satellite Communication Project – Polar (ESCP-P)*. Ottawa.
- MDN. (2016b, 26 mai). *Projet de communications par satellite améliorées*. Récupéré à l'adresse <http://www.forces.gc.ca/fr/faire-affaires-guide-acquisition-de-la-defense-2016/systemes-joints-444.page>
- MDN. (2017). *Protection, Sécurité, Engagement : la politique de défense du Canada*. Récupéré à l'adresse <http://dgpaapp.forces.gc.ca/fr/politique-defense-canada/docs/rapport-politique-defense-canada.pdf>
- ESA. (2010, August 2). *AIS on ISS*. Récupéré à l'adresse http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/AIS_on_ISS
- ESA. (2018). *ARTES Advanced Technology*. Récupéré à l'adresse <https://artes.esa.int/advanced-technology>
- Euroconsult. (2010). *Maritime Telecom Solutions by Satellite: Global Market Analysis & Forecasts*.
- Euroconsult. (2012). *Study of the socio-economic benefits related to improved communications and weather services in the Arctic/North delivered by the Polar Communications and Weather (PCW) Mission*. Montréal.
- Euroconsult. (2013a). *Government Space Markets: World Prospects to 2022* (pp. 1–220). Paris, France.

- Euroconsult. (2013b). *Government Space Markets: World Prospects to 2022* (pp. 1–220). Paris, France.
- exactEarth. (2015, June 23). Preliminary Prospectus. Récupéré à l'adresse <https://www.sedar.com/DisplayCompanyDocuments.do?lang=EN&issuerNo=00037341>
- Friesen, J. (2014, June 6). Surveillance aircraft played key role capturing Bourque. *The Globe and Mail*. Récupéré à l'adresse <https://www.theglobeandmail.com/news/national/surveillance-aircraft-played-key-role-in-bourque-search/article19059589/>
- Gainor, C. (2012, September 6). Alouette 1 – Celebrating 50 Years of Canada in Space. *SpaceQ*. Récupéré à l'adresse https://spaceq.ca/alouette_1_celebrating_50_years_of_canada_in_space/
- Gouvernement du Canada. (2014, 22 mai). Systèmes mondiaux de navigation par satellite. Récupéré à l'adresse <https://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf10805.html>
- Gouvernement du Canada. (2015, 12 novembre). Lettre de mandat du ministre de la Défense nationale. Récupéré à l'adresse <https://pm.gc.ca/fra/lettre-de-mandat-du-ministre-de-la-defense-nationale>
- Gouvernement du Canada. (2016a, 17 juin). Projet Polar Epsilon 2 : Document d'information. Récupéré à l'adresse <https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/nouvelles/2016/06/projet-polar-epsilon-2.html>
- Gouvernement du Canada. (2016b, 1^{er} juillet). Directive sur les résultats. Récupéré à l'adresse <https://www.tbs-sct.gc.ca/pol/doc-fra.aspx?id=31306>
- Gouvernement du Canada. (2016c, 1^{er} juillet). Politique sur les résultats. Récupéré à l'adresse <https://www.tbs-sct.gc.ca/pol/doc-fra.aspx?id=31300>
- Gouvernement du Canada. (2017a). Le Plan pour l'innovation et les compétences du Canada. Récupéré à l'adresse https://www.budget.gc.ca/2017/docs/themes/Innovation_fr.pdf
- Gouvernement du Canada. (2017b, 2 mai). Polar Epsilon 2. Récupéré à l'adresse <https://www.ic.gc.ca/eic/site/086.nsf/fra/00042.html>
- Gouvernement du Canada. (2018, 27 février). Égalité et croissance : une classe moyenne forte (le budget de 2018). Récupéré à l'adresse <https://budget.gc.ca/2018/docs/plan/budget-2018-fr.pdf>
- International Marine Organization. (2018). AIS transponders. Récupéré à l'adresse <http://www.imo.org/en/OurWork/safety/navigation/pages/ais.aspx>
- ISRO. (2016, June 22). PSLV-C34 Successfully Launches 20 Satellites in a Single Flight. Récupéré à l'adresse <https://www.isro.gov.in/update/22-jun-2016/pslv-c34-successfully-launches-20-satellites-single-flight>
- MDA. (2016a, January 7). MDA to provide communication subsystems for O3B Satellites. Récupéré à l'adresse <https://mdacorporation.com/news/pr/pr2016010701.html>

- MDA. (2016b, June 1). MDA to build antennas for the OneWeb Constellation. Récupéré à l'adresse <https://mdacorporation.com/news/pr/pr2016060101.html>
- NASA. (2017, February 2). Space Technology Announcement of Collaboration Opportunity. Récupéré à l'adresse [https://nspires.nasaprs.com/external/viewrepositorydocument/cmdocumentid=572607/solicitationId=%7BE4466534-6C43-2367-5E53-EE2165C396C2%7D/viewSolicitationDocument=1/NNH17ZOA001K%20Solicitation%20\(Revised%20May%2030,%202017\).pdf](https://nspires.nasaprs.com/external/viewrepositorydocument/cmdocumentid=572607/solicitationId=%7BE4466534-6C43-2367-5E53-EE2165C396C2%7D/viewSolicitationDocument=1/NNH17ZOA001K%20Solicitation%20(Revised%20May%2030,%202017).pdf)
- National Research Council. (1989). *NASA Space Communications R&D: Issues, Derived Benefits, and Future Directions*. Washington, D.C.
- Norwegian Space Centre. (2018). Norway's Satellites. Récupéré à l'adresse <https://www.romsenter.no/eng/Norway-in-Space/Norway-s-Satellites>
- OneWeb. (2018). Satellites Make It All Possible. Récupéré à l'adresse <http://www.oneweb.world/#solution>
- ORBCOMM. (2017, February 28). ORBCOMM's Partner Maerospace Awarded Multi-Year Contract for Canadian Government. Récupéré à l'adresse <https://www.orbcomm.com/en/company-investors/news/2017/orbcomm-partner-maerospace-awarded-multi-year-contract-canadian-government>
- Pace, S., Frost, G. P., Lachow, I., Frelinger, D. R., Fossum, D., Wasseem, D., & Pinto, M. M. (2005). *The Global Positioning System: Assessing National Policies*. Rand Corporation. Récupéré à l'adresse https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR614.html#relatedProducts
- Parliamentary Committee on Science and Technology. (2016). *Satellites and space*. U.K. Parliament. Récupéré à l'adresse <https://publications.parliament.uk/pa/cm201617/cmselect/cmsctech/160/16002.htm>
- SPAC. (2017, 4 décembre). Demande de renseignements (W6369-180123/A) : Projet de communications satellites améliorées – Polar. Récupéré à l'adresse <https://achatsetventes.gc.ca/donnees-sur-l-appvisionnement/appels-d-offres/PW-ST-046-32020>
- Pugliese, D. (2017, March 19). U.S. military satellite, funded in part by Canada at a cost of \$340 million, now launched. *Ottawa Citizen*. Récupéré à l'adresse <http://ottawacitizen.com/news/national/defence-watch/u-s-military-satellite-funded-in-part-by-canada-at-a-cost-of-340-million-now-launched>
- TPSGC. (2013, 1^{er} novembre). Projet de Télécommunications et de météorologie en orbite polaire / Polar Communications and Weather (PCW) Project - Demande de renseignements.
- Conseil consultatif sur l'espace. (2017). *Consultations sur l'avenir du Canada dans l'espace : les commentaires reçus*. Ottawa. Récupéré à l'adresse <https://www.ic.gc.ca/eic/site/ad-ad.nsf/fra/ad03996.html>

- SSGP. (2016). *Sara Huntingdon, SSGP Manager, Agence spatiale du R.-U. - Introduction at SSGP Showcase 2016* [Video]. Récupéré à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=faJAXcQZS40>
- Condition féminine Canada. (2017, 25 mai). Analyse comparative entre les sexes plus. Récupéré à l'adresse <http://www.swc-cfc.gc.ca/gba-acis/index-fr.html>
- Telesat. (2018). Telesat LEO – Transforming Global Communications. Récupéré à l'adresse <https://www.telesat.com/services/leo>
- Transports Canada. (2012, 5 mai). Groupe de travail interministériel sur la sûreté maritime. Récupéré à l'adresse <https://www.tc.gc.ca/fra/suretemaritime/partenariats-285.htm>
- Trendall, S. (2017, December 14). Agence spatiale du R.-U. to offer public sector workers crash course in satellite applications. *Public Technology.Net*. Récupéré à l'adresse <http://www.publictechnology.net/articles/news/uk-space-agency-offer-public-sector-workers-crash-course-satellite-applications>
- Agence spatiale du R.-U.. (2015). *UK Space Innovation and Growth Strategy: 2015 Update Report*. Récupéré à l'adresse https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/444918/_SPA_CE-IGS_report-web-JJF-V2.0.pdf
- Agence spatiale du R.-U.. (2017). Space for Smarter Government Programme. Récupéré à l'adresse <http://www.spaceforsmartergovernment.uk/about-us/>
- US Department of Defense. (2008). Global Positioning System: Standard Positioning Service Performance Standard. Récupéré à l'adresse <https://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>
- Vachon, P. W., Kabatoff, C., & Quinn, R. (2014). *Operational Ship Detection in Canada Using RADARSAT*. Presented at the 2014 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Québec City. Récupéré à l'adresse <http://ieeexplore.ieee.org/document/6946595/>