



Agence spatiale  
canadienne

Canadian Space  
Agency



## **Évaluation du secteur d'activités de la Science du système Soleil-Terre de l'Agence spatiale canadienne**

Période d'avril 2012 à mars 2017

**Projet n° 17/18 – 02-02**

Préparé par la Direction Audit et évaluation

**Août 2018**

## Table des matières

Liste des tableaux et des figures .....	iii
Acronymes utilisés dans le rapport.....	iv
Liste des missions.....	v
Sommaire .....	vi
<b>1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Description du SA-SSST .....</b>	<b>1</b>
2.1 Le contexte général du SA-SSST .....	1
2.1.1 Approfondir les connaissances scientifiques sur le système Soleil-Terre.....	1
2.1.2 La participation du Canada à des missions et activités liées au système Soleil-Terre.....	3
2.2 Le SA-SSST .....	4
2.2.1 Survol et objectifs du SA-SSST.....	4
2.2.2 Activités du programme.....	5
2.2.3 Ressources du programme .....	7
2.2.4 Structures de gestion .....	8
2.2.5 Logique du programme.....	8
<b>3 Approche et méthodes d'évaluation .....</b>	<b>10</b>
3.1 Objet et portée .....	10
3.2 Méthodes.....	10
3.2.1 Approche globale .....	10
3.2.2 Examen documentaire, des données sur le rendement et des données financières.....	11
3.2.3 Entrevues auprès d'informateurs clés et études de cas .....	11
3.2.4 Limites .....	12
<b>4 Constats de l'évaluation.....</b>	<b>13</b>
4.1 Pertinence.....	13
4.1.1 La justification du SA-SSST .....	13
4.1.2 L'alignement du SA-SSST avec les priorités du gouvernement et celles de l'ASC .....	14
4.1.3 Distribution appropriée des rôles et responsabilités.....	16
4.2 Rendement.....	18
4.2.1 La sélection des missions et activités du SA-SSST.....	18
4.2.2 Activités entreprises pendant la période d'évaluation.....	19
4.2.3 Résultats du SA-SSST .....	22
4.2.4 Efficience du programme.....	30

---

5	Conclusions et recommandations.....	33
5.1	Pertinence.....	33
5.2	Rendement.....	34
	Réponse de la direction et plan d'action .....	37
	Bibliographie.....	38



## Liste des tableaux et des figures

Tableau 1 : Sommaire des ressources affectées au SA-SSST .....	8
Tableau 2 : Distribution des entrevues menées dans le cadre de l'évaluation du SA-SSST .....	11
Figure 1 : Programme ministériel : Données, renseignements et services spatiaux.....	4
Figure 2 : Missions sélectionnées liées au système Soleil-Terre en fonction de la date de lancement .....	6
Figure 3 : Modèle logique du SA-SSST .....	9
Figure 4 : Dépenses de programmes du SA-SSST par catégories clés.....	19
Figure 5 : Financement du SA-SSST par missions et activités clés .....	22
Figure 6 : Nombre de publications et d'activités connexes entreprises par des chercheurs financés par l'ASC.....	24
Figure 7 : Nombre de publications utilisant des données de missions et d'activités de l'ASC.....	25
Figure 8 : MCR de publications canadiennes et de l'OCDE en sciences spatiales .....	26

## Acronymes utilisés dans le rapport

AAC	Agriculture et Agro-alimentaire Canada
APOCC	Processus atmosphériques du climat et des changements climatiques
MCR	Moyenne des citations relatives
ARRCU	Recherche liée à l'atmosphère dans les universités canadiennes
CASS	Chemical and Aerosol Sounding Satellite
OSSC	Outil de surveillance des sécheresses au Canada
CDTI	Centre de développement technologique et industriel
CNES	Centre national d'études spatiales (France)
PCSG	Programme canadien de surveillance géospatiale
ASC	Agence spatiale canadienne
DPAE	Division de la physique atmosphérique et de l'espace
MPO	Ministère des Pêches et des Océans
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
ESA	Agence spatiale européenne
ETP	Équivalent temps plein
PHQ	Personnes hautement qualifiées
PE	Protocole d'entente
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEO	Objets géocroiseurs
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RNCan	Ressources naturelles Canada
FNS	Fondation nationale des sciences
F et E	Fonctionnement et entretien
R et D	Recherche et développement
PTSD	Programme de développement des technologies spatiales
SA-SSST	Secteur d'activité de la Science du système Soleil-Terre
STEDiA	Développement de la science, de la technologie et de l'expertise en milieu universitaire
ONU	Organisation des nations unies
OMM	Organisation météorologique mondiale

---

## Liste des missions

SCISAT (ACE) mission	Atmospheric Chemistry Experiment
CASSIOPE (ePOP instr)	Cascade Demonstrator, SmallSat Bus and Ionosphere Polar Explorer
CloudSat mission	<i>Pas un acronyme</i> – Mission/Satellite
EarthCARE mission	Earth Cloud Aerosol and Radiation Explorer
ENVISAT	Environmental Satellite
GO Canada Initiatives	Geospace Observatory Canada Initiative
Odin mission (OSIRIS)	Optical Spectrograph and InfraRed Imaging System
SAC-D mission	Satélite de Aplicaciones Científicas-D
SMAP mission	Soil Moisture Active-Passive
SMILE mission	Solar Wind Magnetosphere Ionosphere Link Explorer
SMOS mission	Soil Moisture Ocean Salinity
SWARM mission	<i>Pas un acronyme</i>
SWOT mission	Surface Water Ocean Topography
Terra mission (MOPITT)	Measurement Of Pollution In The Troposphere
THEMIS mission	Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms
WINDI Instrument	Wind Imaging Interferometer

## Sommaire

Ce rapport présente les constats de l'évaluation du secteur d'activité de la Science du système Soleil-Terre (SA-SSST) de l'Agence spatiale canadienne (ASC). Le but fondamental du SA-SSST est d'appuyer la contribution du Canada à l'avancement des connaissances scientifiques au sujet du système Soleil-Terre, et l'application de ces connaissances à un éventail de secteurs stratégiques, comme les prévisions météorologiques, la surveillance de l'environnement, les changements climatiques, la gestion et l'atténuation des catastrophes naturelles, et la protection des infrastructures publiques et privées, dans l'espace et sur Terre. L'évaluation couvre une période de cinq ans, du 1<sup>er</sup> avril 2012 au 31 mars 2017, et elle examine la pertinence et le rendement du SA-SSST.

L'évaluation a été effectuée par PRA Inc., au nom de la Direction Audit et évaluation de l'ASC, de septembre 2017 à septembre 2018. L'évaluation est incluse dans le plan d'évaluation quinquennal de l'ASC et elle a été menée conformément à la *Politique sur les résultats (2016)* du Conseil du Trésor du Canada.

## Pertinence

Un certain nombre de ministères et d'organismes fédéraux dépendent de données existantes sur le système Soleil-Terre pour administrer leurs programmes et services et ils explorent d'autres occasions futures qui se manifesteront à mesure que de nouvelles missions scientifiques arrivent à maturité. À titre de centre d'expertise en ce qui a trait à l'espace, l'ASC collabore avec ces ministères et organismes, ainsi qu'avec tout un éventail d'autres agences spatiales, d'institutions et d'intervenants, afin d'approfondir nos connaissances sur le système Soleil-Terre et leurs applications opérationnelles. Dans ce contexte, le SA-SSST fournit le cadre et la vision d'ensemble pour la participation de l'ASC à ces missions et activités scientifiques. Il offre une orientation pour les activités entreprises au sein de l'ASC qui abordent des dimensions particulières du système Soleil-Terre, ainsi que pour les collaborations entre l'ASC et des intervenants externes, au Canada et à l'étranger.

Pendant la période couverte par l'évaluation, l'éventail et la nature des activités entreprises dans le cadre du SA-SSST étaient directement alignés avec les priorités gouvernementales dans des domaines comme les changements climatiques et la surveillance des dangers naturels. Ces activités reflètent aussi les priorités de recherche cernées par des chercheurs et scientifiques canadiens. L'établissement, en 2017, de trois comités consultatifs de l'ASC est largement perçu comme un progrès important qui vient appuyer davantage une vision partagée parmi les intervenants clés canadiens qui participent à des activités liées au système Soleil-Terre, selon laquelle le Canada est ainsi mieux positionné pour faire une contribution précieuse.

Enfin, les activités du SA-SSST reflètent le mandat législatif de l'ASC et elles ne reproduisent pas des programmes et activités entrepris par d'autres ministères et organismes fédéraux.

## Rendement

Pendant les cinq années de la période d'évaluation, l'ASC a investi 42,3 millions \$ dans des activités couvertes directement par le SA-SSST. Ces ressources ont surtout été consacrées à l'exploitation et à l'utilisation des données de missions et d'activités continues et elles ont également permis de financer des études conceptuelles et de Phase 0, ainsi que des activités de développement de projets associées à des missions et activités scientifiques à venir.

L'évaluation a constitué une occasion de documenter comment ces activités liées au SA-SSST contribuent à l'approfondissement des connaissances sur le système Soleil-Terre. Notamment, des scientifiques canadiens ont participé directement à des missions et activités menées par l'ASC et d'autres agences spatiales et leurs publications sont régulièrement citées à travers le monde. Dans le même ordre d'idées, des scientifiques et des chercheurs du monde entier ont utilisé les données produites dans le cadre d'activités financées par l'ASC pour appuyer leurs priorités en matière de recherche. Un défi que le Canada continue de partager avec d'autres pays de compétence spatiale est la gestion et le stockage des données découlant de leurs missions et activités respectives. Au moment de cette évaluation, l'ASC explorait toujours des options pour faciliter l'accès aux données qu'elle produit, tout en respectant l'orientation concernant les données ouvertes adoptée par l'ensemble du gouvernement fédéral.

Le développement et l'exploitation de satellites et d'instruments utilisés pour appuyer les missions scientifiques du Canada sur le système Soleil-Terre ont également mobilisé le secteur spatial canadien. L'éventail d'avantages pour l'industrie englobe l'occasion de faire progresser leurs technologies, d'acquérir de l'expérience spatiale, d'attirer et de perfectionner des PHQ et de créer des occasions de marchés dérivés.

L'évaluation a également permis d'explorer certaines des applications liées aux politiques et aux programmes qui ont découlé des connaissances scientifiques acquises jusqu'ici à propos du système Soleil-Terre. La liste de telles applications qui sont documentées dans le rapport comprend l'amélioration des prévisions météorologiques au Canada et l'atténuation des inondations et des sécheresses sur les activités agricoles grâce aux missions SMAP et SMOS, l'intégration d'information sur la météo spatiale dans la gestion continue des réseaux électriques et l'utilisation de données d'ACE/SCISAT et d'OSIRIS pour surveiller les progrès réalisés quant aux engagements internationaux concernant les changements climatiques. Le processus entier de l'identification d'un besoin en recherche scientifique à l'opérationnalisation des données scientifiques ainsi obtenues peut prendre beaucoup de temps, mais ces exemples illustrent le fait qu'il s'agit d'un cycle qui est maintenant entièrement intégré à un certain nombre d'activités et de programmes fédéraux et cela devrait se maintenir pour l'avenir prévisible.

Afin de maximiser sa contribution à l'ensemble des connaissances sur le système Soleil-Terre, l'ASC doit faire des choix qui doivent tenir compte d'un éventail de facteurs, comme les priorités fixées par d'autres agences spatiales, les besoins opérationnels des ministères et organismes fédéraux, ainsi que les besoins et les capacités des scientifiques canadiens et de l'industrie spatiale canadienne. C'est pourquoi l'ASC a mis en œuvre des processus qui appuieront une considération plus systématique de ces facteurs, en

---

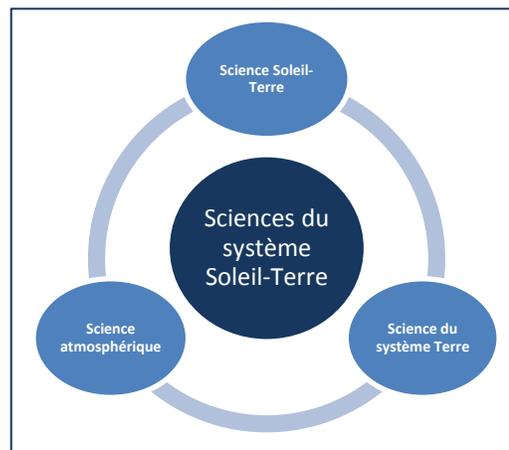
consultation avec d'autres ministères et organismes fédéraux (par l'entremise de comités de la haute direction) et des experts canadiens (par l'entremise de comités consultatifs).

Enfin, au moment de réaliser cette évaluation, l'ASC mettait en œuvre les exigences en matière de rapport sur le rendement établies dans la *Politique sur les résultats* du gouvernement fédéral. L'évaluation a permis de mieux évaluer l'éventail de données sur le rendement du SA-SSST recueillies jusqu'ici et, ce faisant, elle a cerné des lacunes pouvant être comblées dans le cadre de ce processus de mise en œuvre. Ces renseignements sur le rendement peuvent appuyer le processus continu de gestion et de prise de décisions relatif aux activités du SA-SSST, en plus d'améliorer la capacité de l'ASC de partager de l'information sur les activités menées et les résultats obtenus par le SA-SSST avec les groupes d'intervenants des universités, des gouvernements et de l'industrie. Les comités consultatifs de l'ASC peuvent appuyer le partage de ces renseignements sur le rendement avec des groupes d'intervenants externes.

Étant donné que le rapport ne contient aucune recommandation, un Plan d'action de la gestion n'est pas exigé.

## 1 Introduction

Ce document constitue le rapport final de l'évaluation du secteur d'activité de la Science du système Soleil-Terre (ci-après le SA-SSST) de l'Agence spatiale canadienne (ASC). Il couvre un éventail d'activités scientifiques qui contribuent à une meilleure compréhension de l'environnement géospatial et de son interaction avec le Soleil (y compris la météo spatiale), les processus chimiques et physiques qui se trouvent dans l'atmosphère terrestre, ainsi que les processus et les interactions qui se manifestent dans le système Terre. Ces connaissances en pleine évolution trouvent des applications opérationnelles dans de nombreux domaines, comme les prévisions météorologiques, la surveillance environnementale, l'élaboration de politiques liées aux changements climatiques et l'évaluation de ces derniers, la gestion et l'atténuation des catastrophes naturelles, ainsi que la protection des infrastructures publiques et privées (dans l'espace et sur Terre). Ces missions et activités scientifiques sur le système Soleil-Terre sont généralement menées dans le cadre de collaborations internationales.



L'évaluation couvre une période de cinq ans, du 1<sup>er</sup> avril 2012 au 31 mars 2017, et elle examine la pertinence, la conception et le rendement du SA-SSST. Elle est incluse dans le plan d'évaluation quinquennal de l'ASC et elle a été menée conformément à la *Politique sur les résultats* du Conseil du Trésor du Canada. Il s'agit de la première évaluation faite du SA-SSST.

L'évaluation a été menée par PRA Inc. au nom de la Direction Audit évaluation de l'ASC, de septembre 2017 à septembre 2018.

## 2 Description du SA-SSST

Cette section du rapport comprend une brève description du SA-SSST et du contexte général dans lequel il fonctionne. Les composantes clés du SA-SSST y sont abordées, le modèle de gouvernance, l'allocation des ressources et ses résultats escomptés.

### 2.1 Le contexte général du SA-SSST

#### 2.1.1 Approfondir les connaissances scientifiques sur le système Soleil-Terre

Compte tenu des forces et des objets colossaux en jeu, le système Soleil-Terre crée certains des phénomènes scientifiques les plus difficiles à explorer et à comprendre. Néanmoins, ces connaissances scientifiques sont essentielles puisque la vie sur Terre a une incidence sur ces forces dynamiques et en subit les effets. L'expansion des capacités technologiques, particulièrement dans le cadre de missions

satellites toujours plus sophistiquées, approfondit notre compréhension du système Soleil-Terre et des ramifications environnementales, sociales, politiques et économiques de phénomènes comme la météo spatiale, les changements climatiques ou la composition en pleine évolution de la surface et de l'atmosphère de la Terre.

Particulièrement au cours des deux dernières décennies, la NASA (National Aeronautics and Space Administration) et l'Agence spatiale européenne (ESA) ont dirigé plusieurs missions spatiales portant sur le système Soleil-Terre et de nombreuses agences spatiales et organisations dans des pays comme le Brésil, le Canada, la Chine, la France, l'Allemagne, l'Inde et le Japon ont mené des missions et des activités scientifiques visant à approfondir notre connaissance du système Soleil-Terre, ou y ont contribué.

Ces initiatives spatiales ont eu lieu dans un contexte marqué par une plus grande connaissance du fait que l'interconnectivité des activités qui sont menées sur Terre et dans son atmosphère a des conséquences considérables. Une illustration a été fournie par la mobilisation internationale qui s'est produite dans les années 1970 et 1980 découlant de la nécessité d'inverser l'appauvrissement de la couche d'ozone, ce qui a mené au *Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone*, un traité des Nations unies signé par 46 états en 1987 et ratifié depuis par encore 151 pays (Nations unies, 2018). Au-delà de l'impact nocif direct du rayonnement UV sur les humains qui découle d'une couche d'ozone appauvrie, ce phénomène a également une incidence sur la photosynthèse des plantes, ce qui peut perturber toute la chaîne alimentaire (NASA, 2007). Au début de 2018, la NASA a publié un rapport présentant les premières preuves directes de l'amélioration du trou d'ozone depuis l'adoption du Protocole de Montréal (NASA, 2018b). La surveillance continue de la couche d'ozone, commandée par l'Organisation météorologique mondiale (OMM), et d'autres études sur la couche d'ozone, se sont toutes appuyées sur des données fournies par plusieurs satellites effectuant des missions scientifiques, y compris le SCISAT canadien ou l'instrument OSIRIS, fourni par le Canada et installé dans le satellite suédois ODIN.

Une autre illustration s'est manifestée moins de deux ans après la signature du Protocole de Montréal, en mars 1989, lorsqu'une éruption solaire particulièrement puissante a déclenché une tempête solaire qui a frappé le champ magnétique de la Terre. Cet impact a notamment créé des courants électriques dans le sol d'une grande partie de l'Amérique du Nord qui a causé différents dommages, y compris une panne générale de tout le réseau électrique du Québec, où les résidences ont été laissées dans le noir pendant 12 heures, en plus de paralyser les aéroports de la province et le Métro de Montréal. Parmi les impacts additionnels de cette tempête solaire, il est à noter la perturbation de certains satellites qui ont été laissés hors de contrôle pendant plusieurs heures (NASA, 2017). En reconnaissance de l'éventail d'impacts importants que les tempêtes solaires peuvent avoir sur les infrastructures sur Terre et dans l'espace (où le nombre de satellites croît de façon exponentielle<sup>1</sup>), des gouvernements du monde entier ont investi dans des missions scientifiques portant sur la météo spatiale, afin d'améliorer la capacité des autorités et

---

<sup>1</sup> On compte environ 1 200 satellites opérationnels en orbite de la Terre (Agence spatiale européenne, 2018b), et le déploiement attendu de méga-constellations de satellites de télécommunications en orbite basse terrestre devrait ajouter plusieurs milliers d'autres satellites dans l'avenir prévisible (Henry, 2018).

d'entités privées à atténuer les impacts des tempêtes solaires et d'autres phénomènes connexes. Le satellite CASSIOPE du Canada et son instrument ePOP, la mission SWARM de l'ESA (qui comprend l'instrument UVI fourni par le Canada), le Programme canadien de surveillance géospatiale de l'ASC, ainsi que la mission proposée SMILE, menée par l'ESA et la Chine et comprenant un instrument canadien, sont certaines des activités spatiales portant tout particulièrement sur les différentes dimensions de la météo spatiale.

D'autres phénomènes, comme l'intensité et la gravité des inondations, sécheresses et feux de forêt, de l'érosion côtière, la fonte des glaciers ou la hausse du niveau des océans, ont également illustré les ramifications de la dynamique qui se manifeste dans le système Soleil-Terre.

### 2.1.2 La participation du Canada à des missions et activités liées au système Soleil-Terre

L'ASC participe à des activités scientifiques liées au système Soleil-Terre et le SA-SSST est le principal intermédiaire par lequel passent toutes ces activités. Comme décrit plus de détail dans la sous-section suivante, le SA-SSST fournit un cadre régissant la participation de l'ASC qui couvre tout le cycle de vie des sciences spatiales, de la préparation scientifique à l'analyse et à l'utilisation des données obtenues des missions.

En plus du SA-SSST, l'ASC gère d'autres programmes qui peuvent aborder, à un niveau secondaire, les enjeux liés au système Soleil-Terre, comme :

- Le Programme de développement des technologies spatiales (PDTs) fournit à des entités canadiennes choisies un soutien financier permettant de faire progresser le développement de technologies spatiales ciblées. Le programme aide à réduire les inconnues technologiques de futures missions spatiales et à développer l'expertise canadienne à l'appui de telles missions. Le PDTs vise d'abord et avant tout le développement ou la maturation de technologies spatiales et d'expertise dans un éventail de secteurs, mais il peut comprendre des technologies qui pourraient servir à appuyer des missions scientifiques d'exploration du système Soleil-Terre.
- Le programme de contribution à l'ESA, qui appuie la mise en œuvre de l'Accord de coopération Canada-ESA, donne des occasions à des entités canadiennes (surtout dans l'industrie) de participer à des missions et à des activités de l'ESA. L'objectif principal du programme est d'appuyer l'industrie spatiale au Canada, particulièrement par l'expansion de leurs marchés internationaux. Ainsi, la nature des activités et des missions auxquelles participent des entités canadiennes peut être liée au système Soleil-Terre.

Ces exemples sont offerts à titre d'illustration seulement, car d'autres activités entreprises par l'ASC (comme l'initiative Développement de la science, de la technologie et de l'expertise en milieu universitaire [STEDiA] de l'ASC) peuvent aussi aborder, dans une certaine mesure, des enjeux liés au système Soleil-Terre. Ils illustrent néanmoins une considération importante pour les besoins de cette évaluation, soit que

l'évaluation du SA-SSST devrait tenir compte d'activités couvertes directement par le secteur d'activités, en plus d'autres activités qui, tout en visant d'autres buts et objectifs, peuvent aussi contribuer à l'atteinte des résultats du SA-SSST.

## 2.2 Le SA-SSST

### 2.2.1 Survol et objectifs du SA-SSST

Pendant la période couverte par l'évaluation, le SA-SSST faisait partie du programme ministériel intitulé Données, informations et services spatiaux (CSA, 2016a).<sup>2</sup> Ce programme portait particulièrement sur les missions spatiales liées à l'observation de la Terre, aux télécommunications par satellite et aux missions scientifiques (sciences du système Soleil-Terre). Tel qu'illustré à la Figure 1, l'éventail d'activités couvertes comprenait la définition de missions de satellites en orbite terrestre et le développement de technologies connexes, les infrastructures terrestres ainsi que l'accès aux données et aux images, selon le cas, découlant de ces missions, et l'utilisation de ces dernières. Certaines des missions entreprises dans le cadre de ce programme ministériel visent des buts en recherche et développement (R et D), mais d'autres missions sont surtout de nature opérationnelle, dans le sens qu'elles fournissent continuellement des données et des images qui appuient la mise en œuvre de programmes et de services offerts par un éventail de ministères et d'organismes fédéraux.

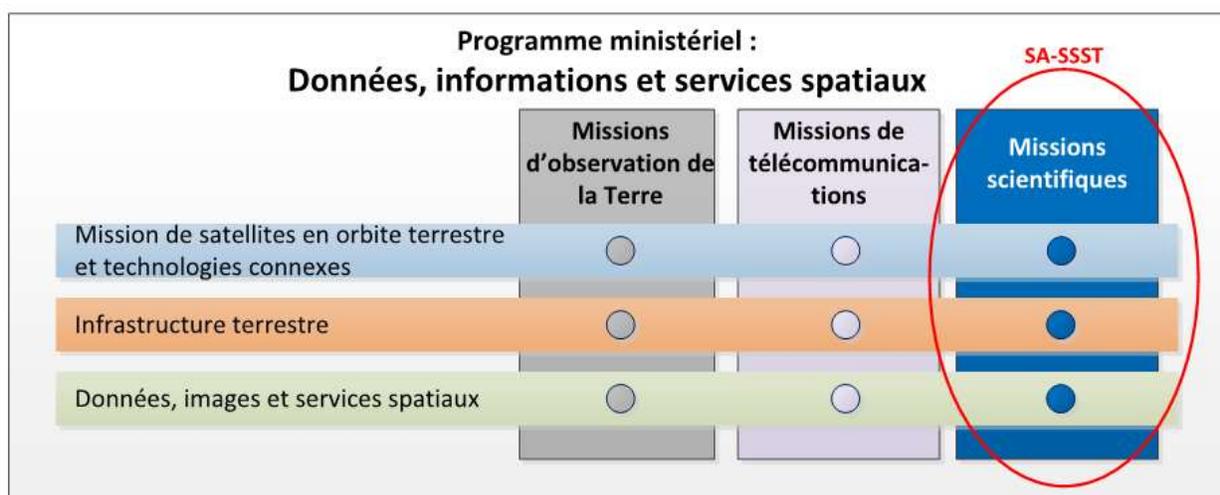


Figure 1

L'ASC a utilisé le concept de « secteurs d'activités » pour faire le lien entre la nature des missions entreprises et les différentes dimensions opérationnelles qui, généralement, caractérisent les missions spatiales. Dans le cas du SA-SSST, ce dernier couvre par conséquent la gamme d'activités liées à la

<sup>2</sup> En 2018-2019, les activités du SA-SSST sont incluses dans le Programme d'utilisation de l'espace, tout particulièrement dans le secteur de l'Observation de la Terre, conformément au Cadre ministériel des résultats de l'ASC.

définition de missions de satellites en orbite terrestre et le développement de technologies connexes, les infrastructures terrestres nécessaires, ainsi que l'utilisation des données et des images, tous des aspects associés spécifiquement aux missions scientifiques explorant le système Soleil-Terre.

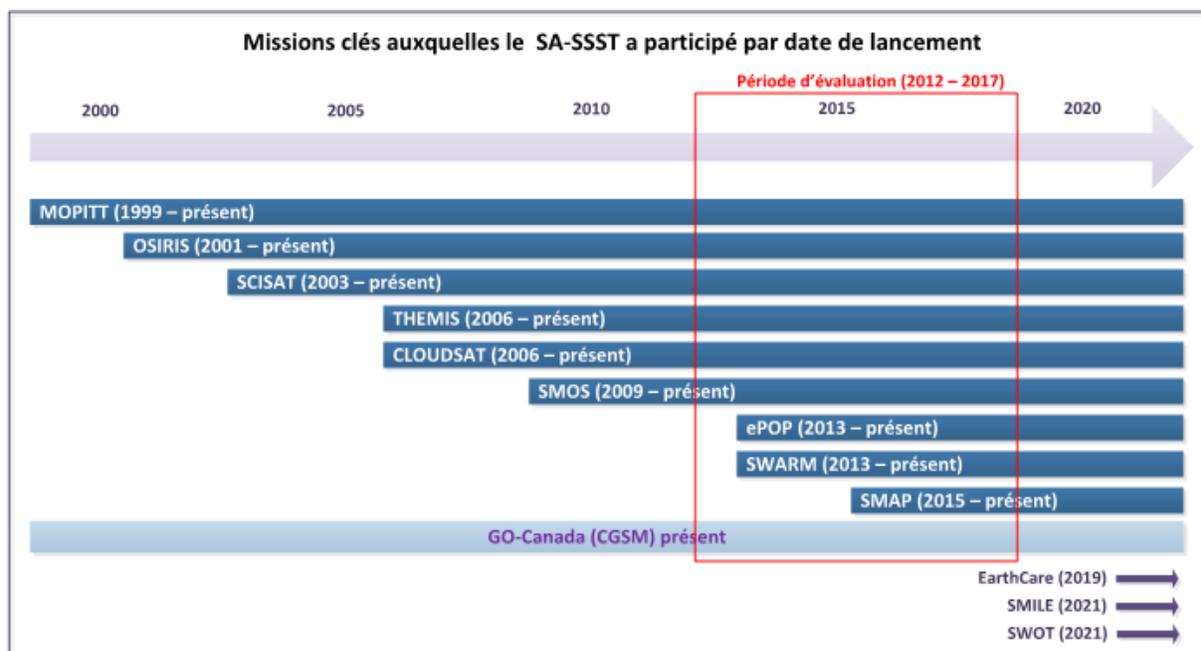
Étant donné que les missions visant le système Soleil-Terre sont souvent menées dans le cadre de collaborations internationales et tendent à être dirigées par de grandes agences spatiales, les projets et les activités du Canada peuvent porter seulement sur certaines dimensions du secteur d'activités. Par exemple, ils peuvent inclure la fourniture d'un instrument particulier à incorporer dans un satellite étranger, l'utilisation d'infrastructures canadiennes au sol, l'accomplissement d'activités d'étalonnage ou de validation pour appuyer une mission scientifique menée par d'autres agences spatiales ou l'utilisation par des chercheurs canadiens de données scientifiques provenant de missions étrangères pour approfondir les connaissances scientifiques sur des dimensions précises du système Soleil-Terre. La participation du Canada peut aussi inclure des missions satellitaires entièrement menées par le Canada (comme l'ACE/SCISAT), auquel cas toutes les dimensions du secteur d'activités s'appliqueraient, en plus du recours à d'autres intervenants ou partenaires internationaux, selon le cas (pour fournir un soutien complémentaire ou pour utiliser les données canadiennes en vue d'analyses).

En fin de compte, le but du SA-SSST est de fournir une orientation et un cadre général pour l'éventail des missions scientifiques et d'activités sur le système Soleil-Terre entreprises par l'ASC par l'entremise du SA-SSST ou indirectement par l'entremise d'autres domaines de programmation.

### 2.2.2 Activités du programme

Généralement, les missions scientifiques spatiales passent par différents cycles, y compris les travaux préparatoires menant aux missions potentielles (préparation et maturation scientifiques, et élaboration de missions), ainsi qu'aux opérations continues liées aux missions proprement dites, y compris l'analyse et l'utilisation des données. Puisque ces missions s'écoulent habituellement pendant une période prolongée, les travaux effectués dans le cadre du SA-SSST peuvent être liés à des missions exploitées depuis longtemps, ainsi qu'à des missions lancées récemment. À des fins d'illustration, la Figure 2 montre les missions clés auxquelles le SA-SSST a participé dans une certaine mesure pendant la période d'évaluation.

Figure 2



Plus particulièrement, le SA-SSST mène les types d'activités suivants :

- **Soutien financier** : Le SA-SSST donne un soutien financier à des partenaires et intervenants externes. Cela comprend le soutien à des travaux exploratoires en vue de missions scientifiques potentielles (études conceptuelles et de Phase 0), à la définition de nouvelles missions (Phases A à D), à des missions opérationnelles en cours, y compris des activités d'étalonnage et de validation (Phase E) et à l'analyse des données fournies par des missions scientifiques (Phases E et F). Ce soutien est géré par le personnel de l'ASC affecté au SA-SSST et il peut être fourni dans le cadre de contrats, de subventions et de contributions ou de protocoles d'entente (PE).
- **Soutien à d'autres activités de l'ASC** : Le personnel affecté au SA-SSST fournit un soutien (p. ex. en agissant à titre d'autorité scientifique) ou collabore avec d'autres programmes au sein de l'ASC à des activités portant sur le système Soleil-Terre. La liste de ces activités comprend (sans s'y limiter) des projets financés dans le cadre du PTSD ou du programme STEDiA, particulièrement l'initiative Vols et investigations-terrain en technologies et sciences spatiales (VITES).
- **Faire participer davantage des intervenants externes** : De plus, le personnel affecté au SA-SSST interagit aussi avec un certain nombre d'intervenants externes qui participent à des missions et activités spatiales sur le système Soleil-Terre. La liste de ces intervenants externes comprend des ministères et organismes fédéraux, des partenaires internationaux (autres agences spatiales, universités, et associations et groupes internationaux de chercheurs travaillant dans des domaines scientifiques pertinents).

### 2.2.3 Ressources du programme

Pendant les cinq années couvertes par l'évaluation, l'ASC a investi un total de 42,2 millions \$ dans le SA-SSST.

Tel qu'indiqué au [Tableau 1](#), la vaste majorité de ces ressources (88 %) ont été orientées vers les différents types de soutien financier à des entités externes qui entreprennent des activités scientifiques sur le système Soleil-Terre. Une analyse plus complète de ces investissements est incluse à la sous-section 4.2.2 du présent rapport. Les dépenses qui restent étaient consacrées à la gestion continue du SA-SSST. Pour ce qui est des ressources humaines, de 7,5 à 9 équivalents temps plein (ETP) étaient affectés annuellement au SA-SSST.

**Tableau 1 : Sommaire des ressources affectées au SA-SSST (en milliers)**

Activités	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	Total
<b>Activités du programme</b>						
Contrats	6 237 \$	3 633 \$	4 029 \$	2 551 \$	2 895 \$	19 345 \$
Subventions	1 890 \$	2 074 \$	2 118 \$	1 956 \$	3 682 \$	11 720 \$
Contributions	0 \$	590 \$	1 215 \$	1 200 \$	1 109 \$	4 114 \$
PE	637 \$	382 \$	329 \$	428 \$	380 \$	2 155 \$
Sous-total	8 764 \$	6 680 \$	7 690 \$	6 135 \$	8 066 \$	37 335 \$
<b>Gestion du programme</b>						
Nombre d'ETP*	9,0	9,0	8,0	7,5	7,5	
Salaires	954 \$	1 062 \$	944 \$	901 \$	785 \$	4 645 \$
F et E (excluant les contrats)	72 \$	92 \$	40 \$	19 \$	25 \$	248 \$
Sous-total	1 026 \$	1 154 \$	984 \$	920 \$	810 \$	4 894 \$
<b>TOTAL</b>	<b>9 790 \$</b>	<b>7 834 \$</b>	<b>8 674 \$</b>	<b>7 055 \$</b>	<b>8 875 \$</b>	<b>42 228 \$</b>

\* ETP : équivalent temps plein

Source : Données financières fournies par l'ASC

## 2.2.4 Structures de gestion

Le Directeur général de la Direction générale de l'utilisation de l'espace assume la responsabilité globale des activités menées dans le cadre du SA-SSST. Ce faisant, il agit en respectant l'ensemble de politiques applicables du Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (ASC, 2016b, p. 10), ainsi que la *Politique sur la gestion de projet* et la *Directive sur le Cadre de surveillance et de gouvernance intégrées* adoptées par l'ASC. Cette dernière politique 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 portant sur le système Soleil-Terre.

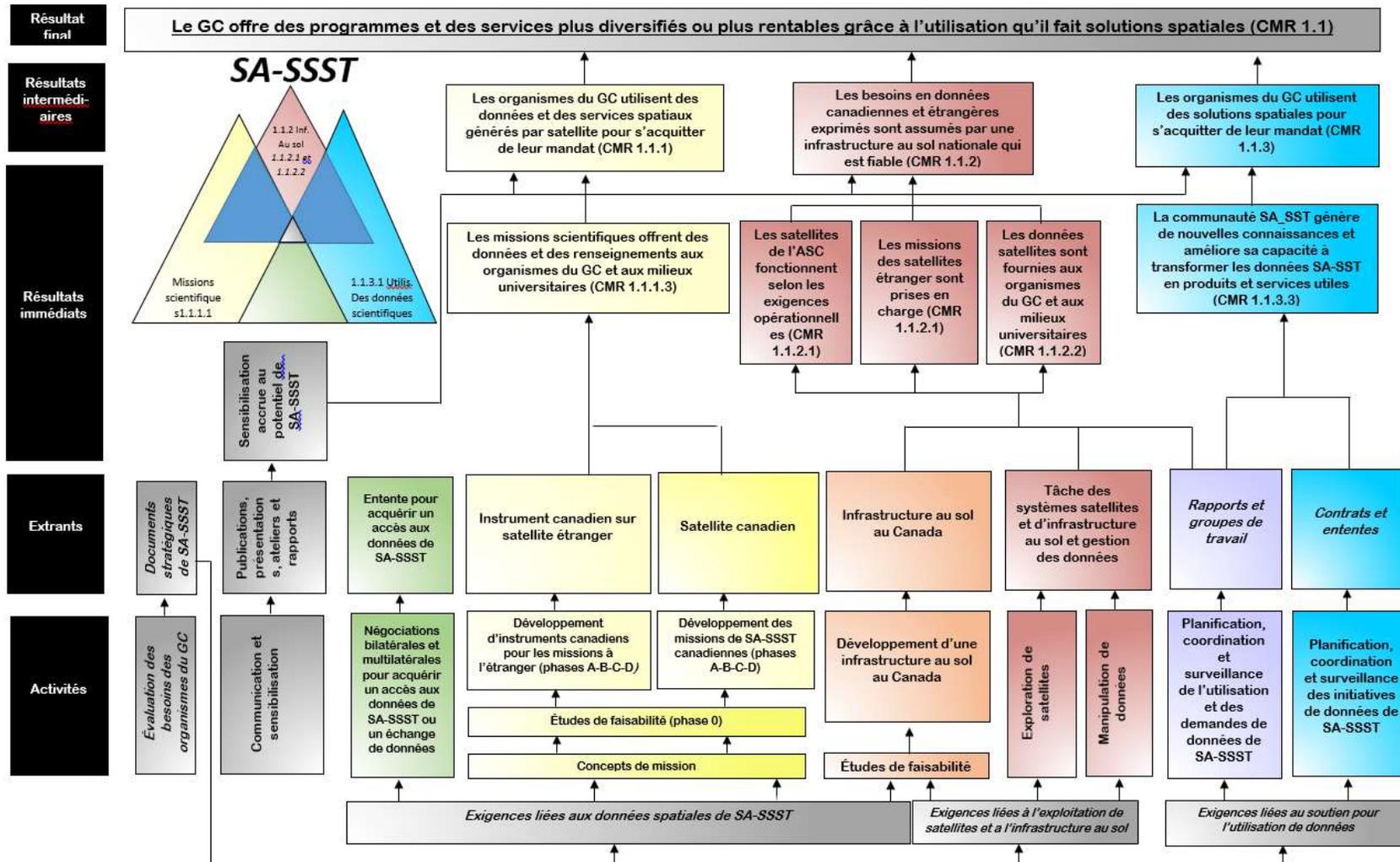
Le Directeur général du Programme d'utilisation de l'espace préside le Comité de gestion de l'Utilisation de l'espace afin d'appuyer la coordination continue des activités liées à toutes les missions satellitaires au sein du Programme d'utilisation de l'espace (observation de la Terre, télécommunications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

Le personnel de l'ASC affecté au SA-SSST comprend des gestionnaires de projet et des professionnels de l'ingénierie. D'autres professionnels de l'ASC donnent aussi leur appui à des projets particuliers (soutien matriciel).

## 2.2.5 Logique du programme

La logique du programme du SA-SSST est décrite dans sa Stratégie de mesure du rendement (ASC, 2016b, p. 18). Le modèle logique, qui illustre la chaîne de résultats du SA-SSST, est présenté à la Figure 3.

Figure 3



### 3 Approche et méthodes d'évaluation

La présente section du rapport présente une brève description de la méthodologie utilisée pour effectuer l'évaluation du SA-SSST. Elle vise à préciser le but et la portée de l'évaluation, à décrire les principales questions d'évaluation qui y sont abordées ainsi que les méthodes utilisées pour recueillir les conclusions de l'évaluation. En outre, elle détermine les limites auxquelles l'évaluation a fait face, de même que les stratégies utilisées pour les atténuer.

#### 3.1 Objet et portée

Le présent rapport répond à l'engagement énoncé dans le Plan d'évaluation ministériel (2016-2017 à 2020-2021) de l'ASC visant la réalisation d'une évaluation du SA-SSST. Il couvre une période de cinq ans, de 2012-2013 à 2016-2017.

L'évaluation couvre la pertinence et le rendement du SA-SSST et répond aux six questions d'évaluation ci-dessous :

Pertinence	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Le SA-SSST continue-t-il de répondre à un besoin démontrable?</li> <li>2. Le SA-SSST est-il aligné avec les résultats stratégiques ministériels, les priorités du gouvernement fédéral et les priorités des établissements de recherche canadiens œuvrant dans la recherche scientifique sur le système Soleil-Terre?</li> <li>3. Dans quelle mesure les activités entreprises dans le cadre du SA-SSST reflètent-elles une répartition appropriée des rôles et responsabilités parmi les intervenants clés?</li> </ol>
Rendement (efficacité)	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Le SA-SSST a-t-il réalisé ses résultats immédiats et intermédiaires?</li> <li>5. Dans quelle mesure le SA-SSST a-t-il contribué à la réalisation de son résultat ultime?</li> <li>6. Quels processus l'ASC a-t-elle mis en œuvre, le cas échéant, pour améliorer l'efficacité des activités du SA-SSST?</li> </ol>

#### 3.2 Méthodes

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

##### 3.2.1 Approche globale

Puisqu'il s'agit de la première évaluation du SA-SSST, l'approche méthodologique a été conçue de manière à donner un portrait complet de l'éventail des activités entreprises par le SA-SSST, et de la contribution anticipée que les connaissances générées par ce dernier amèneront à certains objectifs de politique publique. Elle tient aussi compte du fait que l'atteinte complète des résultats visés du SA-SSST s'effectue sur une longue période, bien au-delà d'une période de cinq ans. À ce titre, le but de l'évaluation était d'offrir un aperçu pertinent des activités entreprises pendant la période de cinq ans ciblée (2012 à 2017)

ainsi qu'une description des bénéficiaires et des résultats obtenus grâce aux activités menées avant cette période.

Les sous-sections ci-dessous décrivent les méthodes utilisées pour répondre aux questions d'évaluation.

### 3.2.2 Examen documentaire, des données sur le rendement et des données financières

L'examen documentaire a informé toutes les questions d'évaluation. L'examen documentaire comprenait l'information fournie par l'ASC sur le SA-SSST ainsi que des documents identifiés ou fournis par d'autres intervenants, particulièrement dans le cadre des entrevues menées pour les besoins de l'évaluation. L'examen documentaire portait particulièrement sur la pertinence du SA-SSST et couvrait des activités entreprises par d'autres pays dans des activités et missions scientifiques auxquelles le Canada a également participé. Puisque le SA-SSST vise à produire de nouvelles connaissances, cette tâche englobait aussi une analyse bibliométrique préparée pour l'ASC.

En ce qui a trait plus précisément aux données sur le rendement, l'ASC a approuvé la Stratégie de mesure du rendement du SA-SSST en mars 2016. À ce titre, une partie seulement des indicateurs de rendement avaient été documentés au moment de l'évaluation. L'information sur le rendement comprenait aussi un éventail de documents opérationnels, de données administratives et de renseignements financiers.

### 3.2.3 Entrevues auprès d'informateurs clés et études de cas

Les entrevues menées auprès des informateurs clés ont contribué à acquérir une compréhension approfondie des activités du SA-SSST, y compris les résultats obtenus et les défis relevés par les intervenants clés. Ces entrevues ont également corroboré, expliqué ou clarifié les constats d'autres sources de données. Au total, 63 personnes ont été consultées (dans le cadre d'entrevues individuelles et collectives) de sept groupes d'intervenants différents. La distribution de ces entrevues est présentée au Tableau 2.

**Tableau 2 : Distribution des entrevues menées dans le cadre de l'évaluation du SA-SSST**

Groupes de répondants clés	Nombre de personnes
ASC	12
Universités	10
Ministères et organismes fédéraux (autres que l'ASC)	11
Industrie	9
Membre de comités consultatifs	9
Autres agences spatiales (NASA, ESA)	6
Autres organisations spatiales (NOAA, NSF, ONU)	6
Total	63

Quatorze de ces entrevues portaient plus particulièrement sur les trois missions choisies comme études de cas. Il s'agit des missions SWOT, SWARM et OSIRIS. Les critères utilisés pour la sélection de ces missions comprenaient la date de lancement des missions (de manière à inclure des missions plus anciennes et

plus récentes), la nature de la participation canadienne et le sous-domaine du système Soleil-Terre auquel ces missions appartiennent (météo spatiale, sciences atmosphériques et sciences du système Terre). L'objet de ces entrevues était d'examiner de plus près des missions précises (plutôt que les activités Soleil-Terre en général) afin de permettre une compréhension plus approfondie de la mise en œuvre et des résultats associés à ces missions. L'information recueillie pendant ces entrevues est incluse tout au long du présent rapport, selon le cas.

### 3.2.4 Limites

Cette section décrit les limites rencontrées dans l'évaluation et la façon dont elles ont été abordées.

#### ***Nature et portée des activités du SA-SSST***

Comme souligné précédemment, l'exploration scientifique du système Soleil-Terre est un processus multidimensionnel très complexe faisant appel à un vaste éventail d'intervenants du monde entier qui se déroule pendant une longue période. Dans ce contexte, le fait d'isoler la contribution du SA-SSST, surtout pour les activités menées dans le cadre du SA-SSST pendant une période de cinq ans, présentait des défis à relever. Comme le précise la sous-section 3.2.1, il a été décidé dès le début d'adopter une approche à deux niveaux pour cette évaluation. Tout d'abord, l'évaluation allait documenter la gamme d'activités menées par le SA-SSST pendant les cinq années visées donnant ainsi une meilleure compréhension de la nature et de la portée de la participation du Canada dans une perspective mondiale. Ensuite, l'évaluation allait également servir à documenter une partie des applications des connaissances scientifiques acquises jusqu'ici sur le système Soleil-Terre qui se sont manifestées pendant la période de l'évaluation, et ce, même si ces applications étaient fondées sur des activités menées bien avant la période précise visée par l'évaluation. Cela donnerait une meilleure compréhension de la portée et de la nature de l'impact des connaissances acquises sur le système Soleil-Terre.

#### ***Élaboration de la stratégie de mesure du rendement***

La Stratégie de mesure du rendement du SA-SSST a été élaborée et approuvée en 2016. Par conséquent, les données recueillies au moment de l'évaluation ne portaient que sur une partie des indicateurs de rendement. De plus, l'ASC était en train de mettre en œuvre la nouvelle structure hiérarchique établie par la *Politique sur les résultats* (Gouvernement du Canada, 2016c), particulièrement au moyen des Profils d'informations sur le rendement exigés, qui donnent une nouvelle structure pour la collecte de données sur le rendement et la production de rapports à ce sujet. L'évaluation a donc recueilli toutes les données administratives disponibles et a fait l'analyse qui devait être incluse dans le présent rapport.

#### ***Le sous-programme présente un intérêt direct pour la plupart des personnes interviewées***

Cette limite a été atténuée en demandant aux personnes interviewées d'expliquer leur point de vue et de donner des exemples, le cas échéant. Pour ce qui est du rapport global, les constats découlant de ces entrevues ont été triangulés avant des constats d'autres sources de données.

## 4 Constats de l'évaluation

Cette section du rapport décrit les constats de l'évaluation. Tout d'abord la pertinence du SA-SSST est abordée puis le rendement de ce dernier est détaillé.

### 4.1 Pertinence

#### 4.1.1 La justification du SA-SSST

**Constat** : Le SA-SSST fournit la vision et le cadre général relatif à la participation de l'ASC à des missions scientifiques portant sur le système Soleil-Terre. Il guide les activités entreprises à l'ASC, ainsi que les collaborations entre l'ASC et des intervenants externes du Canada et de l'étranger. **(Question d'évaluation : Pertinence n° 1)**

Historiquement, le Canada a collaboré avec d'autres pays et des organisations internationales pour approfondir les connaissances générales du système Soleil-Terre et également pour étendre les capacités opérationnelles afin de mieux prévoir et atténuer les impacts d'événements qui se produisent dans ce système. Par exemple, après plus de 15 ans la mission canadienne ACE/SCISAT continue de fournir des renseignements sur l'appauvrissement de la couche d'ozone (ASC, 2017); des scientifiques d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) ont collaboré avec des agences comme l'EUMETSAT en Europe ou la NOAA des États-Unis pour améliorer les solutions spatiales servant à prévoir et à surveiller les tendances météorologiques et environnementales (ECCC, 2017; EUMETSAT, 2018). De plus, le Canada participe activement à des politiques et à des initiatives sur les changements climatiques, comme le Système mondial d'observation du climat (SMOC) de l'OMM qui surveille des variables essentielles du climat (VEC) (Organisation météorologique mondiale, 2018a) ou le Cadre mondial pour les services climatologiques de l'OMM qui appuie l'intégration de renseignements climatiques fondés sur la science dans la planification et la mise en œuvres de politiques et de programmes (Organisation météorologique mondiale, 2018b). Le Canada s'est également joint à d'autres pays pour approfondir les connaissances scientifiques sur la météo spatiale et sur les impacts qui peuvent découler des tempêtes solaires.

En fait, pendant la période couverte par l'évaluation, un plus haut niveau de mobilisation mondiale s'est manifesté en raison de la nécessité d'aborder de façon plus systématique les impacts potentiels des tempêtes solaires et des objets géocroiseurs (NEO), comme des astéroïdes ou des comètes dont les trajectoires orbitales peuvent avoir une incidence sur la Terre. En 2016, l'ESA a renouvelé le financement de son programme Connaissance de la situation dans l'espace de 2009, qui porte sur la météo spatiale, la surveillance des NEO, ainsi que la surveillance et la poursuite spatiales, afin d'améliorer la capacité de l'Europe de « détecter des objets et phénomènes naturels susceptibles de nuire à des satellites en orbite ou à des infrastructures, comme les réseaux électriques, sur le sol » (Agence spatiale européenne, 2017). En 2015, les États-Unis ont présenté leur Stratégie nationale sur les conditions météorologiques spatiales (National Science and Technology Council, 2015b), accompagné du Plan d'action national sur les conditions météorologiques spatiales (National Science and Technology Council, 2015a) pour améliorer la

capacité des États-Unis à surveiller les phénomènes de météo spatiale et d'autres événements connexes qui surviennent dans le système Soleil-Terre et à y réagir. La Stratégie souligne que « contrairement aux événements météorologiques terrestres (p. ex. un ouragan), les phénomènes météorologiques spatiaux pourraient toucher simultanément l'ensemble de l'Amérique du Nord, ou même des régions géographiques plus vastes encore de la planète » et que les capacités d'observation et de prévision des événements spatiométéorologiques « dépendent d'une coopération et d'une coordination internationales » (National Science and Technology Council, 2015b, p. 3).

La nécessité d'un effort soutenu visant à surveiller la météo spatiale et les NEO et à se préparer adéquatement en vue de leurs impacts potentiels a donné naissance à un certain nombre de missions et d'instruments spatiaux, y compris la mission SWARM de l'ESA lancée en 2013, l'instrument ePOP installé à bord du satellite CASSIOPE de l'ASC, lui aussi lancé en 2013, la mission GOLD, lancée récemment et dirigée par la NASA (NASA, 2018c) et la future mission SMILE, dirigée conjointement par l'ESA et l'Académie des sciences de la Chine (qui sera lancée en 2021) (Agence spatiale européenne, 2018a).

Dans ce contexte, la participation du Canada aux activités liées au système Soleil-Terre dépend, dans une large mesure, de l'ASC qui, à son tour, collabore avec d'autres ministères et organismes fédéraux et avec d'autres agences spatiales et institutions à travers le monde. Le SA-SSST fournit le cadre général régissant les activités de l'ASC au sujet du système Soleil-Terre. Tel que mentionné précédemment, d'autres programmes de l'ASC peuvent inclure des activités concernant le système Soleil-Terre mais seul le SA-SSST est spécifiquement dédié à ce domaine d'activités spatiales. De plus, il est attendu que le SA-SSST appuie et coordonne tous les programmes et toutes les activités de l'ASC en lien avec le système Soleil-Terre. En l'absence du SA-SSST, l'ASC n'a aucun autre mécanisme permettant de coordonner ses activités scientifiques liées au système Soleil-Terre.

#### 4.1.2 L'alignement du SA-SSST avec les priorités du gouvernement et celles de l'ASC

**Constat :** Le SA-SSST est directement aligné avec les priorités du gouvernement fédéral en ce qui a trait aux changements climatiques, ainsi qu'à la surveillance et à l'atténuation des impacts des phénomènes spatiométéorologiques sur les infrastructures publiques et privées sur Terre et dans l'espace. Il appuie aussi l'engagement du gouvernement fédéral à faciliter l'intégration des connaissances scientifiques dans la prise de décisions concernant les politiques et les programmes. **(Question d'évaluation : Pertinence n° 2)**

Pour les besoins de cette évaluation, l'alignement du SA-SSST avec les priorités du gouvernement et de l'ASC est examiné à un certain nombre de niveaux distincts.

À commencer par la météo spatiale, celle-ci est maintenant reconnue comme un des dangers naturels du Canada faisant l'objet d'une surveillance par Ressources naturelles Canada (RNC) au même titre que les tremblements de terre, les volcans, les dangers géologiques marins, les inondations et les glissements de terrain (Ressources naturelles Canada, 2016). RNC fournit des prévisions continues de l'activité géomagnétique au Canada et de l'impact de la météo spatiale sur la technologie. Le ministère exploite

aussi le Réseau canadien d'observation géomagnétique qui fournit des données sur le champ magnétique de la Terre (Ressources naturelles Canada, 2018) et il gère le Programme Géoscience pour la sécurité publique qui appuie la recherche sur la réduction des risques découlant des effets de la météo spatiale et d'autres dangers naturels (Ressources naturelles Canada, 2017). RNCan utilise les données disponibles sur la météo spatiale mais l'ASC, par l'entremise du SA-SSST, appuie des activités de recherche qui approfondissent les connaissances scientifiques globales sur le système Soleil-Terre, ce qui mènera à l'élargissement de la gamme de données de surveillance et de poursuite disponibles à des fins opérationnelles, comme les activités entreprises par RNCan.

Comme signalé précédemment, le Canada affronte activement les différents défis liés aux changements climatiques. Pendant la période couverte par l'évaluation, le gouvernement fédéral, tout comme des gouvernements provinciaux et territoriaux, a présenté son *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques*, qui donne un grand plan d'action sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre et l'adaptation aux changements climatiques actuels et futurs (Gouvernement du Canada, 2016a). Étant donné que ces gouvernements cherchent à atteindre des objectifs particuliers dans la réduction de l'émission des gaz à effet de serre, des données opérationnelles sont nécessaires à des fins de surveillance. Les données spatiales offertes dans le commerce sur l'émission des gaz à effet de serre par la société canadienne GHGSat ou celles fournies par l'instrument de surveillance TROPOspheric lancé en 2017 à bord du satellite Sentinel-5 Precursor de l'ESA sont des exemples de données spatiales continues qui viennent compléter d'autres outils de mesure utilisés par les gouvernements, l'industrie et d'autres intervenants qui participent à des initiatives liées aux changements climatiques. Dans ce contexte, il est prévu que les sciences de l'atmosphère et du système Terre appuieront les politiques, programmes et activités liées aux changements climatiques en approfondissant les connaissances scientifiques sur un vaste éventail de phénomènes connexes et en ouvrant la voie à d'autres outils et données de surveillance futurs. Le SA-SSST permet à l'ASC de s'engager spécifiquement dans des activités de recherche scientifique qui appuieront ultérieurement des mesures liées aux changements climatiques.

L'évaluation a également constitué une occasion de juger la mesure dans laquelle l'éventail d'activités entreprises dans le cadre du SA-SSST sont alignées avec les priorités de recherche des scientifiques canadiens actifs dans les sciences du système Soleil-Terre. Dans leur ensemble, l'éventail de missions auxquelles le Canada a participé et les occasions de financement offertes par l'ASC, y compris les avis d'offres de participation diffusées par le SA-SSST, ont permis à des chercheurs et scientifiques canadiens de poursuivre leurs recherches dans des domaines qu'ils considèrent comme prioritaires. Pendant les entrevues menées dans le cadre de cette évaluation, des universitaires ont nommé des missions telles que SMAP, MOPITT, OSIRIS et ACE/SCISAT comme exemples de projets qui sont bien alignés avec leurs priorités de recherche. Ils ont également signalé l'importante contribution faite par l'ASC par l'entremise de son soutien d'activités au sol et à bord de ballons stratosphériques, y compris des activités d'étalonnage et de validation qui complètent les missions et les activités satellitaires.

Pour ce qui est de l'avenir, la décision de l'ASC d'établir en 2017 trois comités consultatifs scientifiques<sup>3</sup> qui « appuient la planification, la validation et la mise à jour des feuilles de route à long terme et des stratégies de programme pour l'ASC » (ASC, 2018) a été bien reçue par les chercheurs et les scientifiques consultés pour cette évaluation. Puisqu'il s'agit d'experts d'universités, de ministères et d'organismes gouvernementaux et de l'ASC, l'ASC est perçue comme un contributeur important à un dialogue continu qui peut faciliter l'alignement des priorités de recherche parmi ces groupes d'intervenants. L'établissement de ces comités est aussi aligné avec l'importance donnée à la science pour éclairer la prise de décisions au sein du gouvernement fédéral (Gouvernement du Canada, 2015).

#### 4.1.3 Distribution appropriée des rôles et responsabilités

**Constat :** Le SA-SSST appuie une plage particulière d'activités qui sont incluses dans le mandat de l'ASC et qui viennent s'ajouter à ce qu'offrent d'autres agences de financement. Les constats de l'évaluation n'ont pas dévoilé de cas de chevauchement ou de dédoublement des activités entreprises par d'autres intervenants qui participent à des activités scientifiques sur le système Soleil-Terre. **(Question d'évaluation : Pertinence n° 3)**

À un niveau fondamental et conformément à l'Article 4 de la *Loi sur l'Agence spatiale canadienne*, l'ASC a pour mandat législatif de « faire progresser la connaissance de l'espace par la science », ce qui est l'objectif principal des activités du SA-SSST. D'autres ministères et organismes, comme ECCC, Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) ou RNCAN se livrent aussi à des activités liées au système Soleil-Terre, mais ils visent généralement des buts opérationnels, comme la surveillance ou la mesure continue de phénomènes qui se produisent dans le système Soleil-Terre. D'autres organismes, comme le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie – CRSNG ou la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI), peuvent aussi appuyer de la recherche fondamentale liée au système Soleil-Terre, mais ils ne cherchent pas directement à faire progresser ce type de connaissances scientifiques. Par conséquent, en l'absence du SA-SSST, il n'existerait aucun autre programme au Canada dont l'objectif principal est de permettre à des chercheurs canadiens et à d'autres intervenants spatiaux canadiens de participer au progrès des connaissances scientifiques fondamentales portant spécifiquement sur le système Soleil-Terre.

En mobilisant des intervenants clés à l'aide de mécanismes comme les trois comités consultatifs scientifiques de l'ASC, en participant aux activités d'organismes interministériels, comme ceux dirigés par ECCC sur les changements climatiques, ou en mobilisant des organismes de coordination universitaires, comme le groupe de travail Atmosphere-Related Research in Canadian Universities (ARRCU) ou la Division de la physique atmosphérique et de l'espace (DPAE) de l'Association canadienne des physiciens et physiciennes, le SA-SSST s'assure davantage que les activités qu'il entreprend jouent un rôle complémentaire. Pendant les entrevues menées dans le cadre de cette évaluation, les intervenants ont souligné le fait que le personnel affecté au SA-SSST offre des compétences et des perspectives uniques

<sup>3</sup> Ce sont le Comité consultatif sur les sciences Soleil-Terre, le Comité consultatif sur les sciences atmosphériques et le Comité consultatif sur les sciences du système Terre.

qui peuvent faciliter la coordination des efforts au Canada sur le vaste éventail d'activités scientifiques qui sont comprises dans le domaine du système Soleil-Terre.

## 4.2 Rendement

### 4.2.1 La sélection des missions et activités du SA-SSST

Pour mesurer adéquatement le rendement du SA-SSST, il est utile de clarifier comment ses missions et activités sont planifiées et sélectionnées dès le début. Selon les constats de l'évaluation, il faut tenir compte de trois facteurs principaux à cet égard :

- D'abord, l'ASC peut décider de mener à elle seule une mission entière, comme la mission ACE/SCISAT lancée en 2003. Dans ce cas, l'ASC est responsable du satellite proprement dit et d'un des principaux instruments à bord (un autre instrument a été développé par ECCC); le chercheur principal de la mission et d'autres scientifiques viennent d'universités canadiennes et le satellite et ses charges utiles ont été développés par le secteur spatial canadien. Au total, environ 100 millions \$ ont été investis jusqu'ici par le Canada pour cette mission.
- Deuxièmement, des partenaires étrangers ont pu demander au gouvernement canadien ou à l'ASC plus particulièrement de contribuer à une mission scientifique étrangère sur le système Soleil-Terre grâce au développement d'un instrument ou dans le cadre d'autres activités, comme des activités d'étalonnage et de validation. Dans ces cas, des scientifiques et/ou industries du Canada peuvent être sollicités en vue de contribuer à de telles missions.
- Une troisième voie, quelque peu liée, est celle empruntée par des scientifiques ou industries du Canada qui approche proactivement des partenaires étrangers en vue de participer à de nouvelles activités scientifiques sur le système Soleil-Terre. S'il est estimé que ces projets correspondent aux priorités de recherche actuelles et que des fonds sont disponibles, l'ASC peut décider d'appuyer de telles initiatives.

De plus, la disponibilité de nouvelles données scientifiques découlant de missions auxquelles le Canada a pu ou non participer directement permet à des scientifiques canadiens de mener de nouvelles analyses qui contribueront à l'ensemble global des connaissances produites au sujet du système Soleil-Terre. L'ASC peut financer de telles analyses grâce à des avis d'offres de participation.

En fin de compte, le niveau de ressources financières disponibles pour appuyer des missions et des activités sur le système Soleil-Terre dicte en grande partie la mesure dans laquelle il est possible de suivre l'une des voies susmentionnées. Pendant la période couverte par l'évaluation (de 2012-2013 à 2016-2017), l'ASC n'a pas fait d'investissements importants pour appuyer de nouvelles missions. Comme décrit précédemment avec plus de détail à la sous-section 4.2.2, le SA-SSST s'est concentré sur l'appui à des missions continues ou à des missions qui sont devenues opérationnelles pendant la période de l'évaluation.

### 4.2.2 Activités entreprises pendant la période d'évaluation

**Constat :** Pendant la période d'évaluation, le SA-SSST a fourni un soutien financier à un éventail d'activités qui couvrent les différents cycles des missions scientifiques, des études conceptuelles à l'utilisation des données. (**Question d'évaluation : Rendement n° 4**)

#### 4.2.2.1 Soutien financier

Comme signalé à la sous-section 2.2.3 du présent rapport, l'ASC a investi un total de 42,3 millions \$ dans le SA-SSST au cours des cinq années couvertes par l'évaluation. Comme illustré à la Figure 4, ces ressources ont surtout été investies dans des contrats ainsi que dans des subventions et contributions (S et C) à l'appui de missions et d'activités à différents stades de leur développement. Une partie des investissements ont également été consacrés à des protocoles d'entente (PE) avec d'autres ministères et organismes fédéraux ainsi qu'au fonctionnement et à l'entretien (F et E).

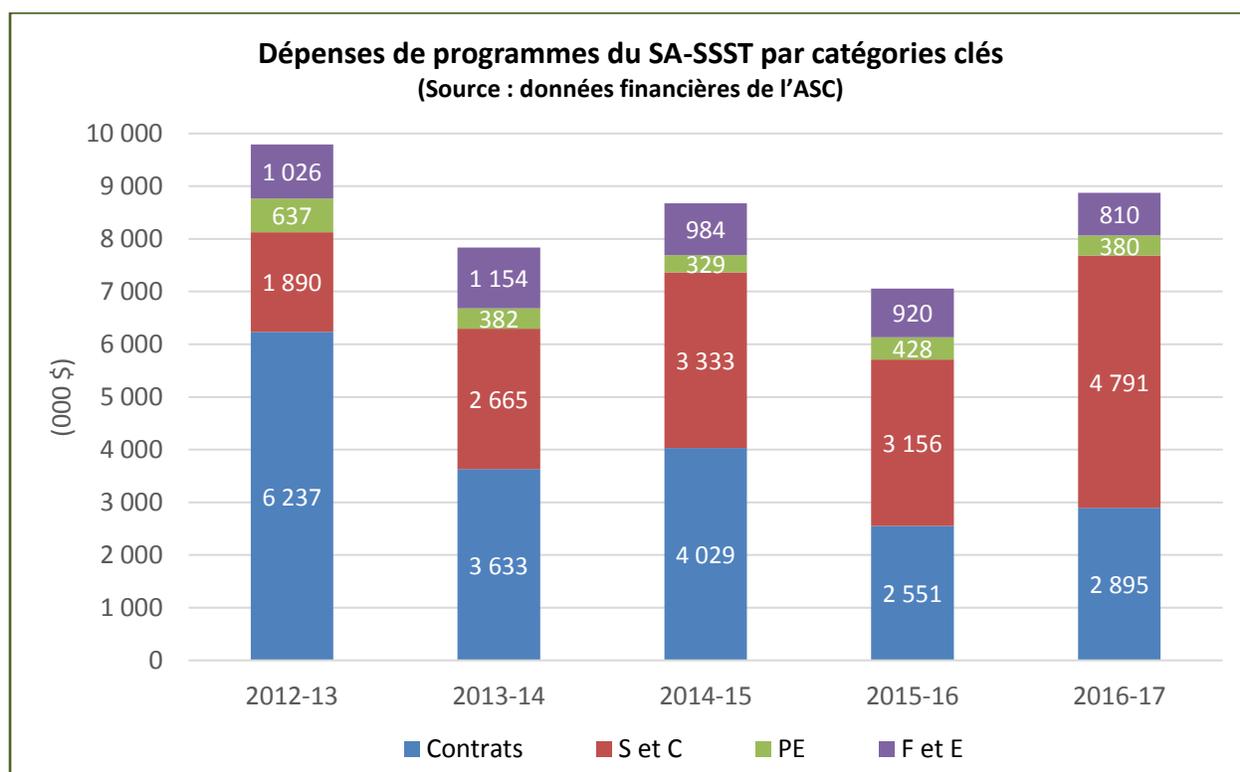


Figure 4

Plus particulièrement, le SA-SSST permet d'appuyer les activités suivantes :

- *Études conceptuelles et de Phase 0* : L'ASC finance régulièrement des études conceptuelles et de Phase 0 au sujet du système Soleil-Terre. Ces études donnent une estimation initiale de la faisabilité et des technologies nécessaires pour mener des missions potentielles. Par exemple, avant la période d'évaluation, en 2008 et 2009, l'ASC a financé six études conceptuelles dans le

cadre du Programme d'étude sur les processus atmosphériques du climat et des changements climatiques (APOCC), y compris l'expérience TICFIRE (Thin Ice Clouds in Far IR Experiment) et l'instrument SnowSat qui sont tous deux passés à la phase de développement scientifique et technologique (ASC, 2015). Pendant la période d'évaluation proprement dite, le SA-SSST a fourni un soutien financier en vue d'études conceptuelles sur des missions et activités potentielles, comme le satellite CASS (Chemical and Aerosol Sounding Satellite) qui succéderait à la mission ACE/SCISAT pour explorer certaines dimensions de l'appauvrissement de la couche d'ozone ou le CATS (Canadian Atmospheric Tomography System) qui succéderait à l'instrument OSIRIS (Optical Spectrograph and InfraRed Imager System) qui observe des gaz et aérosols atmosphériques. Certains de ces projets, y compris le CATS, sont passés au développement scientifique et technologique, surtout grâce au financement du PDTs.

- *Développement de projets* : Pendant la période d'évaluation, quelques projets sont passés aux phases de développement (Phases A à D).<sup>4</sup> Cela comprend, par exemple, un élément important de l'instrument principal à inclure dans la mission future SWOT (destinée à surveiller les océans et les plans d'eau douce du monde entier), la validation et l'étalonnage d'algorithmes utilisés par des scientifiques canadiens pour appuyer la mission SMAP qui mesure la quantité d'eau présente dans les 5 cm supérieurs du sol à la surface de la Terre, l'instrument canadien à bord de la mission SWARM qui porte sur la mesure du champ magnétique, ainsi que l'instrument ePOP à bord du satellite canadien CASSIOPE qui étudie la météo spatiale.
- *Exploitation de mission, y compris la manipulation et l'utilisation des données* : Les plus gros investissements faits par l'entremise du SA-SSST pendant la période d'évaluation étaient associés à l'exploitation et à l'utilisation de données de missions et d'activités en cours. Cela couvrait un éventail de missions, dont une lancée en 1999 dans le cas de l'instrument MOPITT à bord du satellite Terra (étude des nuages, de la vapeur d'eau, des particules aérosols, des gaz à l'état de traces, et des propriétés terrestres et océaniques), l'instrument OSIRIS lancé en 2001 (étude de la couche d'ozone), la mission CloudSat lancée en 2006 (étude de la composition des nuages, de la pluie et de la neige) et la mission canadienne ACE/SCISAT lancée en 2006 (étude de la couche d'ozone). Cette catégorie de financement englobait aussi des activités entreprises dans le cadre de l'initiative de l'Observatoire géospatial (GO) canadien<sup>5</sup> qui finance des instruments au sol servant à explorer la région géospatiale au-dessus du Canada afin de mener des recherches scientifiques sur la météo spatiale et la transformation des connaissances scientifiques en applications, comme par exemple une application permettant une résilience accrue des infrastructures canadiennes aux phénomènes spatiométéorologiques.

<sup>4</sup> Les activités de Phase A couvrent les études de faisabilité pour les missions choisies, alors que les Phases B/C/D portent sur la conception, le développement et la mise en œuvre des activités de la mission. La Phase E porte sur les opérations continues de la mission et sur l'utilisation des données et enfin la Phase F porte sur la mise hors service et l'élimination du satellite ou de l'instrument.

<sup>5</sup> L'initiative GO s'appelait autrefois le Programme canadien de surveillance géospatiale (PCSG).

En examinant le niveau d'investissements réel fourni par le SA-SSST pendant la période d'évaluation par mission et activité clé, selon la Figure 5, près des deux tiers de ces investissements ont été consacrés à l'exploitation et à l'utilisation du SCISAT (11,3 millions \$) et au financement fourni par l'entremise de l'initiative GO Canada (9,3 millions \$). Dans ce dernier cas, le financement est fourni pour la conception des instruments et de la composante données, qui fournit l'infrastructure de l'Observatoire géospatial du Canada, et de la composante science et applications, qui couvre des activités comme la modélisation par ordinateur et le développement d'applications. Des avis d'offres de participations pour l'initiative GO Canada ont été diffusés en 2013 (instruments et composante données) et en 2014 (composante science et applications).

En 2016, le SA-SSST a également financé deux appels d'opportunités visant à appuyer l'utilisation de données spatiales sur le système Soleil-Terre. Le premier de ces appels ciblait le domaine des sciences du système Terre et il a financé des projets d'études scientifiques qui « nous permettront de mieux comprendre les processus physiques et chimiques de l'atmosphère ainsi que les processus de la surface terrestre qui influencent la composition de l'atmosphère » (ASC, 2016c). Ces projets utilisent un éventail de sources de données, y compris celles du satellite SCISAT, des instruments MOPITT et OSIRIS et d'autres satellites de partenaires internationaux. Il est attendu qu'ils améliorent les capacités de prévision et de prédiction dans la gestion des changements climatiques. Le deuxième appel d'opportunité ciblait le domaine des sciences Soleil-Terre et finançait des études scientifiques sur des processus physiques qui se produisent dans le milieu géospatial qui génèrent la météo spatiale et pour l'élaboration de modèles qui appuieront « une amélioration des capacités de prévision et de prévision immédiate qui contribueront à une résilience accrue aux impacts de la météo spatiale » (ASC, 2016d).

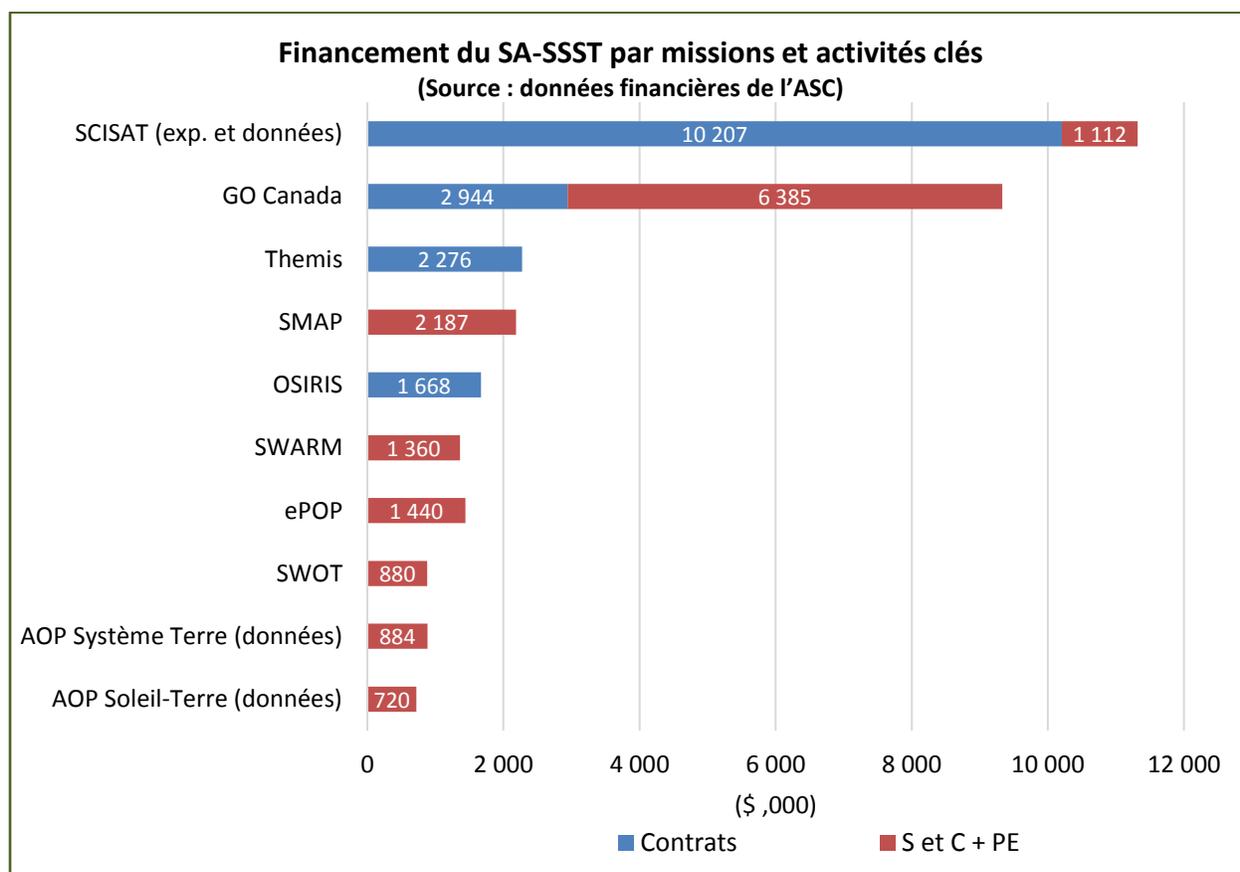


Figure 5

#### 4.2.2.2 Autres types d'activités

Comme mentionné précédemment dans la description du programme, le personnel affecté au SA-SSST fournit aussi un soutien matriciel à d'autres programmes de l'ASC comme le PDTS et le STEDiA, dans le cadre desquels ils agissent parfois comme clients à l'interne ou comme autorité scientifique. Le groupe assure aussi la liaison avec d'autres ministères et organismes fédéraux et avec des partenaires internationaux. Des activités de ces types se sont produites pendant la période d'évaluation, y compris tout particulièrement les travaux à l'appui des trois comités consultatifs.

#### 4.2.3 Résultats du SA-SSST

**Constats :** Le SA-SSST a mobilisé des scientifiques et l'industrie spatiale qui ont participé à des missions ayant produit des connaissances scientifiques sur le système Soleil-Terre qui, depuis, ont été opérationnalisées pour appuyer la prestation continue d'activités et de programmes publics. **(Questions d'évaluation : Rendement nos 4 et 5)**

À la lumière de la gamme d'activités entreprises par l'entremise du SA-SSST, cette sous-section explore la mesure dans laquelle le SA-SSST a atteint ses résultats escomptés. Pour ce faire, le rapport examine

d'abord comment le SA-SSST a facilité la mobilisation de scientifiques canadiens dans l'approfondissement des connaissances globales sur le système Soleil-Terre. Le rapport se penche aussi sur les impacts des activités du SA-SSST sur les industries spatiales canadiennes. Enfin, le rapport donne des renseignements sur différentes applications des connaissances scientifiques sur le système Soleil-Terre dans la gestion de programmes publics au Canada.

Lors de l'examen de ces résultats généraux, il est important de reconnaître que les missions et activités spatiales liées au système Soleil-Terre sont évaluées globalement. En d'autres termes, le Canada peut fournir des instruments installés à bord de satellites étrangers ou mener des activités de validation et d'étalonnage pour appuyer une mission spatiale, mais quand il est question d'évaluer l'impact de ces contributions canadiennes, l'ensemble des missions dans le cadre desquelles ces activités ont été menées sont tenues en compte, car elles finissent par produire les nouvelles données et connaissances sur le système Soleil-Terre dont l'acquisition est recherchée. Cela reflète simplement le fait que, quand il est question des sciences du système Soleil-Terre, la collaboration et la coopération internationales sont d'une importance capitale, et tous les impacts qui en découlent doivent être examinés en tenant cette prémisse à l'esprit.

De plus, comme mentionné dans la description de la méthodologie utilisée pour cette évaluation, l'éventail d'activités examinées pour cette évaluation des résultats visés n'est pas limité aux activités qui ont été lancées pendant la période d'évaluation. On tient compte des activités qui ont été mises en œuvre avant la période d'évaluation, mais dont les résultats se sont manifestés pendant cette dernière.

#### **4.2.3.1 Mobilisation de scientifiques canadiens**

Les constats de l'évaluation confirment que des scientifiques canadiens œuvrant dans un contexte universitaire ou gouvernemental participent activement à de la recherche scientifique sur le système Soleil-Terre. Avec l'appui de l'ASC, ces chercheurs ont participé à un certain nombre d'équipes scientifiques affectées à des activités et à des missions spatiales, y compris ceux qui ont agi comme chercheur ou cochercheur principal. Par exemple :

- Des scientifiques gouvernementaux d'ECCC, d'AAC et du ministère des Pêches et des Océans (MPO) ont participé à des équipes scientifiques pour un certain nombre de missions, y compris la mission canadienne ACE/SCISAT, la mission SWOT (dirigée par la NASA et le CNES), les missions SMAP et CloudSat (dirigées par la NASA) et la mission future EarthCare (dirigée par l'ESA et le Japon). Un certain nombre de PE signés entre l'ASC et ces ministères et organismes fédéraux ont facilité leur participation.
- Des scientifiques universitaires ont également joué un rôle important au sein d'équipes scientifiques appuyant des missions scientifiques sur le système Soleil-Terre, à titre de chercheur principal ou de membres d'équipes scientifiques. Leur participation comprend la mission canadienne ACE/SCISAT, la mission SWARM (dirigée par l'ESA), la mission SMAP (dirigée par la NASA), la mission ODIN qui comprend l'instrument canadien OSIRIS (dirigée par la Suède), la

mission CloudSat (dirigée par la NASA), l'instrument ePOP inclus dans la mission canadienne CASSIOPE, la mission THEMIS (dirigée par la NASA) et la mission SWOT (dirigée par la NASA et le CNES). Une fois de plus, l'ASC a facilité la participation de ces scientifiques grâce à son appui financier.

En plus de participer aux activités d'équipes dans le cadre de missions scientifiques, des chercheurs canadiens ont également utilisé les données disponibles sur le système Soleil-Terre afin de produire des études et des analyses. Ces activités de recherche ont été facilitées, en partie, par le soutien financier de l'ASC, y compris les deux appels d'opportunités décrits ci-dessus à la sous-section 4.2.2.1.

Pendant la période d'évaluation, des scientifiques qui ont reçu un financement de l'ASC ont produit plus de 1 200 articles publiés dans des journaux revus par des pairs, en plus d'autres publications, et participé à un certain nombre de conférences, de séminaires et d'ateliers. La Figure 6 donne plus de détails sur ces activités.



Figure 6

L'évaluation de la contribution de l'ASC doit également inclure la gamme de données scientifiques que l'Agence rend disponibles à tout scientifique ou chercheur du monde entier qui veut étayer ses propres analyses et publications au sujet du système Soleil-Terre. Comme on l'indique à la Figure 7, plus de 2 000 articles publiés entre 2012 et 2017 ont utilisé, dans une certaine mesure, des données produites par les initiatives de l'ASC sur le système Soleil-Terre, y compris des données saisies à l'aide d'instruments au sol et de satellites.

Ces chiffres sont révélateurs, mais il faut souligner qu'ils ne représentent peut-être pas tout l'ensemble des publications ayant fait appel à des données produites par des missions et des instruments canadiens. Cela s'explique par le fait que les données sont accessibles sans restrictions et qu'elles peuvent seulement être incluses dans ces statistiques lorsqu'un chercheur reconnaît formellement avoir utilisé ces données. Comme souligné maintes fois pendant les entrevues menées dans le cadre de cette évaluation, c'est un

défi que doivent relever toutes les agences spatiales quand il est question d'estimer dans quelle mesure leurs données ont été utilisées par des chercheurs ayant publié leurs résultats.

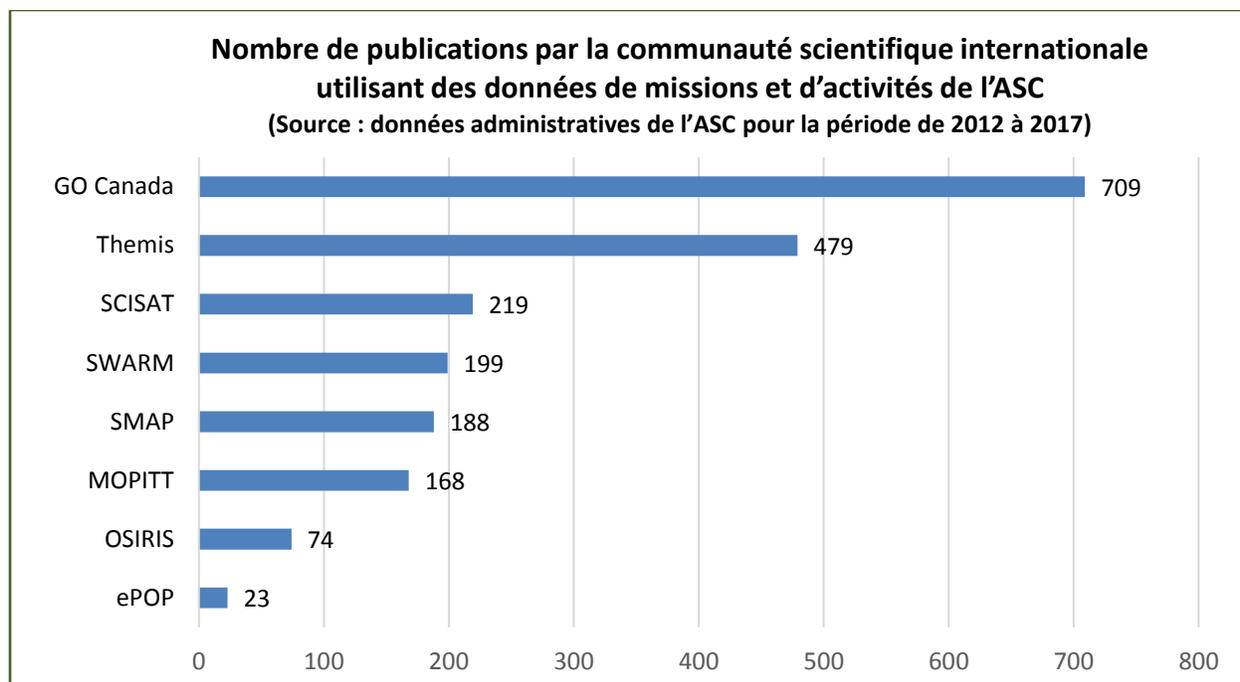


Figure 7

Une autre mesure importante de la contribution des scientifiques canadiens à l'ensemble des connaissances sur le système Soleil-Terre est fournie par l'étude bibliométrique menée par l'ASC en 2018, qui couvre la période de 2010 à 2016. Une des principaux constats qui découle de cette étude et qui est particulièrement pertinente aux fins de la présente évaluation, concerne la mesure dans laquelle des publications sur le système Soleil-Terre par des scientifiques canadiens sont citées par d'autres chercheurs du monde entier. Un indicateur servant à mesurer cet impact est la Moyenne des citations relatives (MCR). En termes simples, la MCR « mesure l'impact des publications produites par une entité donnée, tel que reflété par les citations. Une MCR supérieure à 1 indique que l'entité publie des publications qui sont citées plus souvent que la moyenne mondiale » (Conseil des académies canadiennes, 2016, p. 3).

Selon les données présentées à la Figure 8, en moyenne, les publications de scientifiques canadiens sont citées plus souvent que la moyenne mondiale et elles tendent, en moyenne, à être citées plus souvent que des publications produites par des chercheurs de l'ensemble des pays de l'OCDE.

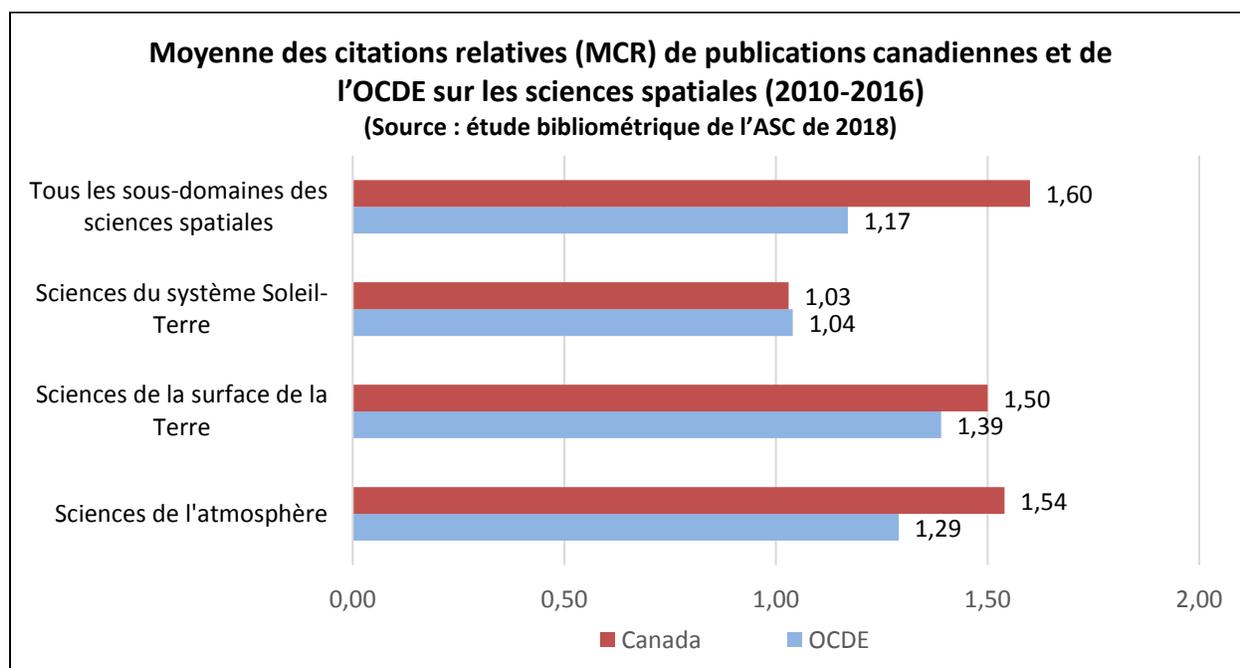


Figure 8

Comme mentionné pendant les entrevues, la tendance actuelle vers les données ouvertes en ce qui a trait aux missions et aux activités spatiales liées au système Soleil-Terre est perçue comme un facteur déterminant qui facilite la mobilisation des scientifiques. Actuellement, les ensembles de données de la NASA et de l'ESA, ainsi que les données produites dans le cadre de missions et d'activités canadiennes sont offerts gratuitement aux chercheurs. Tout particulièrement, l'Atmospheric Science Data Center de la NASA héberge un éventail d'ensembles de données sur le système Soleil-Terre, y compris les données de l'instrument canadien MOPITT (NASA, 2018d). Cependant, cette tendance crée d'importants défis pour toutes les agences spatiales impliquées. La NASA est régulièrement citée en exemple pour ce qui est de la diffusion de données à des fins de recherche, mais des représentants de la NASA consultés dans le cadre de cette évaluation ont souligné les grandes exigences technologiques et financières associées à cette politique sur les données ouvertes. La taille des ensembles de données produits par les missions et les activités spatiales est pratiquement sans égal et elle tend à s'étendre considérablement en raison de la longue durée de ces missions et activités.

Au moment de l'évaluation, l'ASC n'avait pas la capacité d'héberger les ensembles de données découlant des missions et des instruments qu'elle appuie. Ces données sont hébergées dans des systèmes gérés par d'autres agences, comme la NASA, ou dans les établissements universitaires qui participent à ces projets. Par exemple, les données de la mission ACE/SCISAT sont hébergées par l'Université de Waterloo, alors que les données d'OSIRIS se trouvent à l'Université de la Saskatchewan. Puisque l'ensemble du gouvernement fédéral s'oriente vers les données ouvertes et la mise en œuvre complète de sa *Directive sur le gouvernement ouvert* (Gouvernement du Canada, 2014), l'ASC explorait, au moment de l'évaluation,

un certain nombre d'options permettant de faciliter l'accès à toutes ses données, y compris à celles provenant de missions et d'activités spatiales.

#### **4.2.3.2 Mobilisation de l'industrie spatiale canadienne**

Les missions et les activités liées au système Soleil-Terre mobilisent directement l'industrie spatiale, y compris un certain nombre d'entreprises canadiennes qui ont participé à des études conceptuelles et de Phase 0, ou qui ont construit des satellites et des instruments utilisés dans le cadre de missions ou d'activités portant sur le système Soleil-Terre. La liste de ces entreprises comprend COM DEV – Honeywell, MDA, ABB, Communications & Power Industries (CPI), Magellan Aerospace et de nombreuses autres petites et moyennes entreprises impliquées dans le développement de logiciels et d'autres services de soutien. Le financement de ces activités provenait de différents programmes au sein de l'ASC, y compris – mais pas exclusivement – le SA-SSST.

Les entrevues menées avec des représentants de l'industrie ont permis de mieux comprendre les impacts de leur participation à ces activités. Quatre thèmes sont ressortis de ces entrevues.

- La participation à des études conceptuelles ou à la construction de satellites ou d'instruments ou de composants de ces derniers donne aux entreprises spatiales la chance de perfectionner leurs technologies. Ces dernières peuvent, en fin de compte, être appliquées à la mission ou à l'instrument envisagé ou à d'autres occasions où les mêmes types de technologies sont envisagés.
- Les technologies qui finissent par être utilisées dans une mission acquièrent de l'expérience spatiale, ce qui devient un atout particulièrement important dans le positionnement d'entreprises spatiales. Comme l'a souligné un informateur clé, « le fait d'obtenir un contrat pour une mission canadienne sur le système Soleil-Terre était une percée importante; cela nous a donné de l'expérience spatiale dont nous avons pu faire la promotion dans d'autres pays et auprès d'autres agences spatiales, ce qui nous a permis de décrocher de nouveaux contrats ».
- Les études conceptuelles et les activités de développement technologique donnent d'importantes occasions d'attirer de nouveaux employés et de leur donner des occasions de formation, ce qui contribue au perfectionnement de personnes hautement qualifiées (PHQ) dans le secteur spatial canadien.
- Enfin, pour les entreprises qui œuvrent dans un éventail de secteur (au-delà de l'espace), leur participation à des missions et à des activités portant sur le système Soleil-Terre leur a donné des occasions de produits dérivés où elles ont pu appliquer à d'autres secteurs de nouvelles technologies développées dans le contexte des activités scientifiques Soleil-Terre.

#### **4.2.3.3 Contributions à des politiques et à des programmes publics**

Un des principaux moteurs des missions et activités scientifiques concernant le système Soleil-Terre est de permettre aux communautés de mieux gérer un certain nombre de phénomènes qui se manifestent dans ce système, comme les changements climatiques, les tempêtes solaires ou les NEO. Il est largement

reconnu que le processus continu de la recherche fondamentale, aux connaissances scientifiques et aux applications dans le cadre de politiques ou de programmes se déroule sur de multiples niveaux et pendant de longues périodes. Comme un scientifique l'a souligné pendant son entrevue menée dans le cadre de cette évaluation, « de nos jours, la météorologie spatiale en est au stade où se trouvait la météorologie terrestre il y a 30 ou 40 ans. Notre objectif est d'améliorer considérablement, au cours des 20 ou 30 prochaines années, l'exactitude des prédictions des conditions de météo spatiale ». Pendant cette même période, il est à prévoir que les progrès réalisés dans les sciences de l'atmosphère et du système de la Terre débouchent sur des stratégies permettant de faire face aux changements climatiques et à d'autres phénomènes connexes.

Tout en gardant cela à l'esprit, la période d'évaluation a constitué une occasion de mieux comprendre comment est actuellement vécue la transition des connaissances scientifiques aux applications dans le cadre de politiques et de programmes. Cette sous-section présente certaines de ces applications, même si l'intention n'était pas d'avoir une liste exhaustive.

### ***Amélioration des prévisions météorologiques au Canada***

Deux missions scientifiques, SMAP et SMOS, fournissent des données qui passent maintenant à des applications opérationnelles. Dirigée par la NASA, avec des activités d'étalonnage et de validation menées par des équipes canadiennes, la mission scientifique SMAP visait à améliorer notre compréhension de l'humidité des sols, particulièrement dans les 5 cm supérieurs. La mission est opérationnelle depuis 2015. Quelques années avant cela, en 2009, le Centre national d'études spatiales (CNES) en France et le Centre de développement technologique et industriel (CDTI) en Espagne ont collaboré pour lancer la mission scientifique SMOS, dans le cadre de laquelle des scientifiques canadiens ont aussi collaboré à des activités d'étalonnage et de validation. La mission explore un certain nombre de variables critiques du système de la Terre, y compris l'humidité des sols et la salinité des océans.

La Division de la recherche en météorologie d'ECCC inclut des données des missions SMAP et SMOS pour améliorer le Système canadien d'assimilation des données au sol (CaLDAS). Selon les représentants d'ECCC consultés pendant l'évaluation, l'inclusion de ces données additionnelles a amélioré les prévisions météorologiques de 10 à 15 pour cent. Au moment de l'évaluation, ECCC s'affairait à rendre les données SMAP et SMOS entièrement opérationnelles d'ici la fin de 2018, ce qui aura un impact sur les prédictions d'ECCC au sujet des précipitations, des températures de surface et des nuages, ainsi que sur ses prévisions météorologiques.

Ce nouvel ensemble de données améliorera aussi les prédictions hydrologiques, comme les débits fluviaux et les modèles de prévision des inondations, qui informeront mieux les autorités publiques qui devront composer avec les conséquences des inondations.

***Surveillance et atténuation des effets des conditions météorologiques sur l'agriculture***

Le secteur agricole est particulièrement touché par les conditions météorologiques, des efforts considérables ont été déployés, partout dans le monde, pour améliorer la capacité à prévoir et à gérer les conditions défavorables qui peuvent mener à des sécheresses ou à des inondations. Tout comme ECCC, AAC s'est intéressé particulièrement aux données scientifiques découlant des missions SMOS et SMAP. Au moment de l'évaluation, le Service national d'information sur l'agroclimat d'AAC avait intégré de l'information provenant de ces deux missions à ses méthodes et techniques d'évaluation des risques. Notamment, cette information sert aujourd'hui à appuyer la gestion des compensations offertes aux producteurs qui ne peuvent pas ensemercer en raison d'un excès d'eau dans le sol.

À l'autre bout du spectre, AAC utilise aussi des données spatiales pour surveiller les sécheresses et leur impact sur le secteur agricole au Canada. À cette fin, des données de la mission SMAP sont versées dans l'Outil de surveillance des sécheresses au Canada (OSSC), exploité par AAC, qui est « chargé de fournir des évaluations mensuelles de la sécheresse au Canada, dont les données sont versées directement dans le Programme de surveillance des sécheresses de l'Amérique du Nord, une initiative à laquelle des spécialistes de la sécheresse du Canada, du Mexique et des États-Unis collaborent » (AAC, 2018). Les renseignements de l'OSSC appuient les activités liées à la gestion des risques de l'entreprise d'AAC, ainsi que les compagnies d'assurances récoltes.

***Gestion des réseaux électriques à l'aide d'information sur la météo spatiale***

Pendant la période qui a suivi la panne de courant de 1989 au Québec, Hydro-Québec a mené un certain nombre d'activités visant à améliorer sa capacité à surveiller et à gérer les tempêtes solaires susceptibles de nuire à son réseau électrique. D'autres régions du monde ont été directement touchées par des tempêtes solaires, mais un certain nombre de caractéristiques du Québec rendent ce territoire particulièrement vulnérable. Notamment, la province est positionnée sur un immense bouclier rocheux qui empêche le courant électrique des tempêtes solaires de se propager dans le sol, ce qui le pousse vers un réseau électrique doté de lignes de transport relativement longues, ce qui accroît davantage la vulnérabilité du réseau (Hydro-Québec, 2018).

Un groupe de travail a été créé peu de temps après la panne. Il a proposé un certain nombre de mesures correctives qui couvriraient la surveillance des tempêtes solaires et la gestion de leurs effets sur les infrastructures d'Hydro-Québec. Une de ces mesures était « l'établissement d'un système d'alerte en temps réel qui mesure les perturbations dans le réseau électrique pendant les tempêtes magnétiques » (Hydro-Québec, 2018). Au moment de l'évaluation, ce système de surveillance comprenait des données de Météo spatiale Canada (RNCAN), de la NOAA des États-Unis, et de Solar Terrestrial Dispatch, une entreprise privée de services de météo spatiale établie en Alberta. L'ASC a soutenu l'initiative Météo spatiale Canada, en particulier grâce au financement qu'elle a fourni aux scientifiques des universités canadiennes qui avaient conçu et exploité des instruments recueillant des données pertinentes sur la météorologie spatiale. Hydro-Québec utilisait aussi des magnétomètres pour surveiller les courants électriques dans le sol causés par des tempêtes solaires.

Depuis lors, Hydro-Québec surveille constamment les tempêtes solaires et la société d'état a établi des protocoles visant à apporter des changements opérationnels et des ajustements en fonction du niveau d'activité solaire constaté. Ces différentes mesures ont mené à d'importantes améliorations dans la capacité d'Hydro-Québec à maintenir l'intégrité de son réseau électrique. À titre de preuve, il est signalé que des tempêtes magnétiques intenses ont frappé le réseau électrique de la province depuis 1989 mais les mesures en place ont permis de maintenir le service sans interruption (Hydro-Québec, 2018). Comme mentionné pendant les entrevues menées dans le cadre de cette évaluation, les données sur la météo spatiale ont joué un rôle important pour empêcher d'autres pannes mais il subsiste de nombreuses lacunes dans l'éventail de données sur la météo spatiale dont une grande société comme Hydro-Québec a besoin.

De plus, Hydro-Québec surveille activement les données sur les changements climatiques qui ont aussi une incidence sur le réseau électrique du Québec. À cette fin, l'organisation s'est jointe à Ouranos, un organisme à but non lucratif qui appuie un réseau de 450 chercheurs, experts, praticiens et décideurs du Québec qui participent à la surveillance et à l'atténuation des changements climatiques.

#### ***Surveillance des engagements internationaux en matière de changements climatiques***

Comme indiqué à la sous-section 2.1.1, les données de la mission ACE/SCISAT et de l'instrument OSIRIS font partie de la gamme d'ensembles de données sur le système Soleil-Terre qu'utilise actuellement l'OMM pour l'évaluation de la couche d'ozone qu'elle mène tous les quatre ans afin d'appuyer la mise en œuvre du *Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone*. Ce type de données sert également à surveiller un éventail d'autres engagements. C'est le cas, par exemple, des rapports produits tous les sept ans par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat de l'OMM qui appuie la *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatique*, portant sur les émissions de gaz à effet de serre et des modèles de prévision sur la qualité de l'air qui permet de surveiller l'*Accord entre le Canada et les États-Unis sur la qualité de l'air* et la *Loi canadienne sur la qualité de l'air* (ECCC, 2012).

#### **4.2.4 Efficience du programme**

**Constat:** L'ASC a mis en œuvre des processus qui faciliteront la coordination des activités entre l'Agence et d'autres ministères et organismes fédéraux ainsi que l'intégration de connaissances d'experts aux décisions d'investissement concernant des activités scientifiques sur le système Soleil-Terre. De plus, l'ASC s'affaire à répondre aux exigences de la *Politique sur les résultats* qui donne l'occasion de combler des lacunes actuelles dans la mesure du rendement. **(Question d'évaluation : Rendement n° 6)**

#### ***Maximisation des avantages découlant des investissements dans le SA-SSST***

En fournissant le cadre général régissant la participation de l'ASC à des activités scientifiques liées au système Soleil-Terre, le SA-SSST cherche à maximiser les avantages obtenus grâce aux ressources investies par l'Agence dans de telles activités. Comme c'est le cas de tous les secteurs spatiaux, l'éventail de

missions, d'activités et de projets possibles concernant le système Soleil-Terre auxquels l'ASC pourrait participer dépasse de loin le niveau actuel des ressources disponibles. Pendant les entrevues menées dans le cadre de cette évaluation, tous les intervenants ont exprimé un désir clair de voir le Canada continuer de participer activement et, dans la mesure du possible, d'étendre sa participation dans ce domaine. En soit, cela reflète la contribution faite jusqu'ici par le secteur spatial canadien à cet ensemble important de connaissances scientifiques. Cependant, la mesure dans laquelle l'ASC peut faire de nouveaux investissements dans les sciences du système Soleil-Terre est une question qu'il faut étudier à l'échelle de l'Agence et, à ce titre, elle dépasse de loin la portée de la présente évaluation.

Pendant la période d'évaluation, l'ASC a établi un certain nombre de structures et de processus pour appuyer les décisions d'investissement, y compris celles portant sur les sciences du système Soleil-Terre. Plus particulièrement, l'établissement en 2013 et 2014 du Comité de gouvernance des sous-ministres sur l'espace, du Comité d'intégration du programme spatial au niveau des sous-ministres adjoints et du Comité d'intégration du programme spatial au niveau des directeurs généraux sont des exemples de processus qui facilitent l'émergence, au sein de l'ASC et d'autres ministères et organismes, d'une vision pangouvernementale des priorités d'investissement pour des missions et activités spatiales (ASC, 2014). Comme mentionné pendant les entrevues, les décisions d'investissement de l'ASC en ce qui a trait à des missions scientifiques sur le système Soleil-Terre ont eu tendance à être prises de façon ponctuelle en fonction des occasions particulières qui se sont présentées. La structure de gouvernance mise en œuvre pendant la période d'évaluation permet une approche plus systémique et pangouvernementale à une telle planification.

De plus, l'établissement des trois comités consultatifs scientifiques au sein de l'ASC appuie davantage la planification d'activités actuelles et futures de l'ASC concernant le système Soleil-Terre. Puisque ces comités réunissent des scientifiques et des experts de différents domaines des sciences du système Soleil-Terre, ils peuvent donner un point de vue éclairé sur les nouvelles priorités liées à ces différents secteurs d'activités scientifiques. Comme mentionné pendant les entrevues, de grands processus de planification ont été mis en œuvre, comme le Decadal Survey for Earth Science and Applications from Space produit par les National Academies of Sciences, Engineering and Medicine des États-Unis (NASA, 2018a) qui établissent de grandes priorités en ce qui a trait aux activités portant sur le système Soleil-Terre. La création de ces trois comités consultatifs améliore la capacité de l'ASC de surveiller et d'intégrer ce type d'information stratégique à son processus de prise de décisions.

### ***Surveillance du rendement du programme et production de rapports***

Comme souligné dans la section sur la méthodologie, la Stratégie de mesure du rendement du SA-SSST a été approuvée en mars 2016. Depuis, le programme a documenté certains indicateurs de rendement, mais il n'a pas produit de rapports sur le rendement à partir de ces données. Au moment de l'évaluation, l'ASC mettait en œuvre des Profils d'information sur le rendement pour toutes ses activités, et les renseignements sur le rendement seront donc adaptés afin d'accommoder ce nouveau cadre de production de rapports.

Cette évaluation, la toute première menée au sujet des activités du SA-SSST, a permis de recueillir des renseignements stratégiques sur l'importance de la collecte de données solides. Comme illustré tout au long du rapport, l'ASC a participé à un éventail relativement vaste de missions et d'activités sur le système Soleil-Terre qui ont nécessité l'implication de multiples intervenants à l'intérieur et à l'extérieur de l'ASC et qui se sont déroulées pendant une longue période. La capacité de surveiller avec succès les extrants et les résultats de toutes ces activités et de produire des rapports à ce sujet est essentielle pour bien comprendre les grands impacts et les applications des connaissances scientifiques ainsi produites.

La structure de gestion actuelle du SA-SSST permet de recueillir certaines données sur le rendement mais les constats de l'évaluation indiquent que ces données ne sont pas uniformes au fil du temps et, qui plus est, elles n'ont pas encore été entièrement intégrées à une stratégie réelle de surveillance et de mesure du rendement qui permettrait d'analyser le rendement du SA-SSST de manière continue. La mise en œuvre d'une telle stratégie de surveillance et de mesure du rendement permettrait non seulement d'appuyer la gestion continue du SA-SSST mais aussi d'étayer considérablement la prochaine évaluation du SA-SSST.

### ***Intégration de considérations liées à l'Analyse comparative entre les sexes plus***

En juillet 2016, le gouvernement fédéral a publié sa nouvelle *Politique sur les résultats* (Gouvernement du Canada, 2016c), avec sa *Directive sur les résultats* (Gouvernement du Canada, 2016b) connexe. Ce nouveau cadre clarifie les attentes liées à l'analyse comparative entre les sexes plus (ACS+). Tout d'abord, il confirme que dans l'établissement de leur stratégie de mesure du rendement, les gestionnaires de programmes doivent inclure, le cas échéant, une analyse comparative entre les sexes plus. Ensuite, elle stipule, à titre de procédure obligatoire, que toutes les évaluations doivent tenir compte, le cas échéant, d'une analyse ACS+.

En mars 2017, l'ASC a approuvé sa propre politique et ses propres procédures régissant l'analyse entre les sexes qui sont fondées sur le concept de l'ACS+ tel que défini par Condition féminine Canada (Condition féminine Canada, 2017). Ce cadre sert à évaluer « les répercussions potentielles des politiques, des programmes ou des initiatives sur divers ensembles de personnes — femmes, hommes ou autres ». À ce titre, l'ACS+ est un outil analytique qui, il est à prévoir, servira à 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.

La politique et les procédures de l'ASC liées à l'ACS+ n'avaient pas été mises en œuvre pendant la majeure partie de la période couverte par l'évaluation. Par conséquent, cette évaluation n'évalue pas la mesure dans laquelle une ACS+ appropriée a été menée dans le cadre de la gestion du SA-SSST. À l'avenir, cependant, il est attendu que la gestion de toutes les activités relevant du SA-SSST tiendra compte des procédures établies par l'ASC en ce qui a trait à l'ACS+. Les activités de mesure du rendement et la prochaine évaluation des activités du SA-SSST constitueront une occasion d'évaluer la mesure dans laquelle les considérations de l'ACS+ ont été mises en œuvre avec succès dans la gestion de ces activités.

## 5 Conclusions et recommandations

Cette section du rapport se termine par un résumé des constats clés de l'évaluation et elle comprend 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

Des gouvernements du monde entier ont reconnu la nécessité de surveiller adéquatement les phénomènes qui se manifestent dans le système Soleil-Terre et d'atténuer leurs impacts potentiels sur la Terre, ainsi que sur les infrastructures et biens spatiaux. Les tempêtes solaires, les NEO dont la trajectoire orbitale peut avoir une incidence sur la Terre et les changements climatiques sont des illustrations de ces phénomènes complexes qui exigent des politiques, des programmes et des efforts collaboratifs éclairés.

Il reste beaucoup de choses à comprendre dans le système Soleil-Terre et des nations coopèrent pour approfondir les connaissances sur le système Soleil-Terre, et pour transformer ces connaissances en décisions stratégiques. D'un point de vue spatial, cela signifie appuyer des missions scientifiques qui permettent de découvrir de nouvelles connaissances, de même que des missions opérationnelles qui fournissent continuellement des données pertinentes à des fins de surveillance et de prise de décisions.

L'ASC utilise le SA-SSST pour fournir le cadre global et la vision d'ensemble à sa participation dans les sciences du système Soleil-Terre. Étant donné que les missions et activités spatiales peuvent avoir des objectifs scientifiques et opérationnels, le SA-SSST porte sur le volet scientifique, ouvrant la voie à d'autres ministères et organismes fédéraux qui, eux, se chargent d'opérationnaliser ces données à l'appui de leurs activités et programmes.

Il est à prévoir que l'ASC continue de jouer un rôle essentiel dans l'appui des mesures du gouvernement canadien en ce qui a trait aux changements climatiques et à la protection des infrastructures privées et publiques sur Terre comme dans l'espace. Dans la mise en œuvre de ce rôle, l'ASC utilise le SA-SSST pour gérer un certain nombre d'activités qui sont directement financées par le SA-SSST en plus d'appuyer la coordination d'autres activités au sein de l'ASC qui traitent du système Soleil-Terre. Le SA-SSST appuie également les efforts de coordination de l'ASC avec d'autres ministères et organismes fédéraux, ainsi que d'autres intervenants canadiens et étrangers. En l'absence du SA-SSST, il n'existerait aucun autre secteur de programme de l'ASC s'intéressant particulièrement au système Soleil-Terre et à l'avancement des connaissances scientifiques dont peut profiter l'ensemble de la société canadienne. Par conséquent, ces travaux sont alignés avec les priorités actuelles du gouvernement canadien et avec le mandat législatif de l'ASC.

## 5.2 Rendement

### *Activités entreprises par le SA-SSST pendant la période d'évaluation*

Au fil des années, la participation de l'ASC à des missions et activités scientifiques liées au système Soleil-Terre a pris plusieurs formes, y compris le lancement et la direction de missions entières, comme celle du SCISAT, la fourniture d'instruments et l'exécution d'activités d'étalonnage dans le cadre de missions dirigées par d'autres agences, la participation à des comités de missions scientifiques ou l'appui à l'utilisation de données pour des activités de recherche fondamentale entreprises par des scientifiques et des chercheurs canadiens.

Pendant la période d'évaluation, le SA-SSST a appuyé un certain nombre d'études conceptuelles et de Phase 0 dont certaines sont passées à la phase de développement scientifique et technologique. De plus, certains instruments, y compris ceux installés à bord des engins spatiaux des missions SWARM et CASSIOPE, ou de la mission future SWOT, ont traversé les phases de développement de projet (Phases A à D). Le SA-SSST a aussi fourni une aide financière pour appuyer l'exploitation continue de missions et l'utilisation de données, particulièrement en ce qui a trait à la mission SCISAT et à l'initiative GO Canada. Enfin, le SA-SSST a fourni un soutien matriciel à d'autres programmes de l'ASC ou a agi comme client interne pour ces programmes.

### *Mobilisation de scientifiques canadiens et du secteur spatial canadien*

L'évaluation confirme que le SA-SSST a contribué à la mobilisation de scientifiques canadiens dans un éventail de missions et d'activités scientifiques concernant le système Soleil-Terre. Ces scientifiques ont partagé leurs connaissances et leur expertise par l'entremise de publications, de conférences et d'autres activités connexes. La contribution de scientifiques canadiens à l'ensemble des connaissances scientifiques sur le système Soleil-Terre est davantage illustrée par le fait que les publications de scientifiques canadiens sont citées régulièrement dans le monde entier. De plus, des missions et activités financées par l'entremise de l'ASC ont fourni des données scientifiques utilisées par d'autres scientifiques et chercheurs partout dans le monde.

Un défi auquel le Canada a été confronté, comme tous les pays impliqués dans des missions et activités spatiales, est la gestion et le stockage des données produites dans le cadre de leurs missions et activités respectives. Au moment de l'évaluation, l'ASC explorait toujours des options afin de faciliter l'accès aux données scientifiques qu'elle produit, conformément avec l'orientation vers les données ouvertes adoptées par l'ensemble du gouvernement, et de trouver des solutions permettant de stocker et de gérer ces grands ensembles de données pendant de longues périodes.

Le développement et l'exploitation de satellites et d'instruments appuyant les missions scientifiques canadiennes sur le système Soleil-Terre ont également mobilisé le secteur spatial canadien. Les avantages pour l'industrie comprennent l'occasion de perfectionner leurs technologies, d'acquérir de l'expérience spatiale, d'attirer et de développer des PHQ, en plus de présenter des possibilités de produits dérivés.

***Informé des politiques et programmes publics***

L'évaluation a constitué l'occasion de documenter une partie des applications liées aux politiques et aux programmes concrétisées jusqu'ici qui ont été étayées par les connaissances scientifiques acquises sur le système Soleil-Terre auxquelles le Canada a contribué. Le processus relativement long de l'identification d'un besoin en recherche scientifique au lancement d'une mission scientifique et à l'opérationnalisation des données et connaissances scientifiques obtenues exige que l'on examine ces résultats pendant une longue période. L'amélioration des prévisions météorologiques au Canada et l'atténuation des inondations et des sécheresses sur les activités agricoles grâce aux données des missions SMAP et SMOS, l'intégration des renseignements sur la météo spatiale (y compris Météo spatiale Canada de RNCAN) à la gestion continue des réseaux électriques, en plus de l'utilisation des données d'ACE/SCISAT et d'OSIRIS pour surveiller les progrès réalisés quant aux engagements internationaux relatifs aux changements climatiques sont quelques-unes des applications clés qui se sont concrétisées pendant la période d'évaluation.

***Maximisation des avantages découlant des investissements du SA-SSST***

Compte tenu du niveau de ressources fixes attribuées aux activités scientifiques sur le système Soleil-Terre, l'ASC doit faire des choix qui tiennent compte d'un éventail de facteurs, comme les priorités établies par d'autres agences spatiales, les besoins opérationnels de ministères et d'organismes fédéraux, ainsi que les besoins et les capacités de scientifiques canadiens et de l'industrie spatiale canadienne. Pendant la période couverte par l'évaluation, l'ASC a mis en œuvre des processus qui appuieront une considération plus systématique de ces facteurs, en consultation avec d'autres ministères et organismes fédéraux (par l'entremise des comités de gestion de la haute direction) et des experts canadiens (par l'entremise de comités consultatifs). Il est à prévoir que ces comités consultatifs appuient le processus de prise de décisions à l'ASC, mais ils présentent aussi une occasion de mobiliser davantage, dans le cadre d'activités de partage et de transfert des connaissances, des intervenants qui ont un intérêt direct pour les connaissances scientifiques sur le système Soleil-Terre et leur application. De telles activités pourraient porter particulièrement sur des missions ciblées, de nouvelles applications opérationnelles de données scientifiques, des énoncés stratégiques clés d'autres agences spatiales (comme le Decadal Survey de la NASA), ou d'autres enjeux, tels qu'identifiés par les membres des comités.

Au moment de l'évaluation, l'ASC mettait en œuvre les exigences concernant les rapports sur le rendement établies dans la *Politique sur les résultats*, qui couvrira nécessairement l'ensemble d'activités menées dans le SA-SSST. L'évaluation a donné la chance de mieux évaluer la gamme de données sur le rendement recueillies jusqu'ici et, ce faisant, de cerner des lacunes qui devraient être comblées à l'avenir. En particulier, même si certaines données sur le rendement ont été recueillies, elles n'ont pas encore été intégrées à une véritable stratégie de surveillance du rendement et de production de rapports à ce sujet. Une telle stratégie appuiera non seulement la gestion continue et le processus de prise de décisions en ce qui a trait aux activités du SA-SSST, mais elle donnera un appui considérable aux évaluations futures, en plus d'améliorer la capacité de l'ASC de partager de l'information sur les activités menées et les résultats

---

obtenus par le SA-SSST avec des groupes d'intervenants clés des universités, des gouvernements et de l'industrie. Les comités consultatifs de l'ASC peuvent appuyer le partage de ces renseignements sur le rendement avec des groupes d'intervenants externes.

L'entière mise en œuvre des exigences établies dans la *Politique sur les résultats* constituera aussi une occasion pour l'ASC d'intégrer les considérations liées à l'ACS+ à la planification et à la prestation des activités du SA-SSST, ainsi qu'à la production de rapports à ce sujet.

Puisque le rapport ne contient aucune recommandation, aucun plan d'action de la direction n'est exigé.

## Réponse de la direction et plan d'action

	RESPONSABILITÉS ORGANISATION/ FONCTION	RÉPONSE DE LA DIRECTION	DÉTAIL DU PLAN D'ACTION	CALENDRIER
RECOMMANDATION N° 1				
S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.

## Bibliographie

- AAC. (2018, Mars). À propos de l'Outil de surveillance des sécheresses au Canada. Récupéré à l'adresse <http://www.agr.gc.ca/fra/programmes-et-services/guetter-la-secheresse/outil-de-surveillance-des-secheresses-au-canada/a-propos-de-l-outil-de-surveillance-des-secheresses-au-canada/?id=1463576995558>
- Conseil des académies canadiennes. (2016). *Mise à jour préliminaire des données : rendement et réputation internationale de la recherche au Canada*. Ottawa.
- ASC. (2014). *Rapport ministériel sur le rendement 2013-2014*. St-Hubert.
- ASC. (2015). Solar and Earth System Science: Current and planned activities.
- ASC. (2016a). *Rapport sur les plans et les priorités 2016-2017*. St-Hubert.
- ASC. (2016b). *Performance Measurement Strategy: Sun-Earth System Science Business Line*.
- ASC. (2016c, Juillet). Analyses des données scientifiques du système Terre : Avis d'offre de participation. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/ao/2016-ads-st.asp>
- ASC. (2016d, Juillet). Analyses des données scientifiques du système Soleil-Terre : Avis d'offre de participation. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/ao/2016-adss-st.asp>
- ASC. (5 décembre 2017). SCISAT - From dawn to twilight. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/satellites/scisat/default.asp>
- ASC. (2018, 3 mai). Comités de l'Agence spatiale canadienne. Récupéré à l'adresse <http://www.asc-csa.gc.ca/fra/sciences/comites/default.asp>
- ECCC. (2012). *Accord sur la qualité de l'air Canada-États-Unis – Rapport d'étape 2012*. Ottawa. Récupéré à l'adresse <https://ec.gc.ca/air/default.asp?lang=Fr&n=8ABC14B4-1&xml=8ABC14B4-ED53-4737-AD51-528F8DBA2B4C&offset=3&toc=hide>
- ECCC. (2017). Protocole d'entente entre la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) du département du Commerce des États-Unis, et le ministère de l'Environnement du Canada (EC) concernant la collaboration sur la température, le climat et d'autres systèmes terrestres en vue d'améliorer la santé, la sécurité et la prospérité économique. Récupéré à l'adresse <http://www.ec.gc.ca/international/7A7A2DC5-84FD-4E9E-BEBF-8FC27E7C8E23/C27%202017%20IEA%20Factsheet%20NOAA%20FR%20Final.pdf>
- EUMETSAT. (2018). EUMETSAT: Partenaires internationaux. Récupéré à l'adresse <https://www.eumetsat.int/website/home/AboutUs/InternationalCooperation/BilateralCooperation/index.html?lang=FR&pState=1>
- Agence spatiale européenne. (Novembre 2017). Space Situational Awareness. Récupéré à l'adresse [https://www.esa.int/Our\\_Activities/Operations/Space\\_Situational\\_Awareness/SSA\\_Programme\\_overview](https://www.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Situational_Awareness/SSA_Programme_overview)

- Agence spatiale européenne. (2018a). SMILE. Récupéré à l'adresse <http://sci.esa.int/smile/>
- Agence spatiale européenne. (2018b). Space Debris by the Numbers. Récupéré à l'adresse [https://m.esa.int/Our\\_Activities/Operations/Space\\_Debris/Space\\_debris\\_by\\_the\\_numbers](https://m.esa.int/Our_Activities/Operations/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers)
- Gouvernement du Canada. (2014). Directive sur le gouvernement ouvert. Récupéré à l'adresse <https://www.tbs-sct.gc.ca/pol/doc-fra.aspx?id=28108>
- Gouvernement du Canada. (novembre 2015). Lettre de mandat de la ministre des Sciences. Récupéré à l'adresse <https://pm.gc.ca/fra/lettre-de-mandat-de-la-ministre-des-sciences>
- Gouvernement du Canada. (2016a). *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques*. Ottawa. Récupéré à l'adresse [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2017/eccc/En4-294-2016-fra.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2017/eccc/En4-294-2016-fra.pdf)
- Gouvernement du Canada. (1<sup>er</sup> juillet 2016b). Directive sur les résultats. Récupéré à l'adresse <https://www.tbs-sct.gc.ca/pol/doc-fra.aspx?id=31306>
- Gouvernement du Canada. (1<sup>er</sup> juillet 2016c). Politique sur les résultats. Récupéré à l'adresse <https://www.tbs-sct.gc.ca/pol/doc-fra.aspx?id=31300>
- Henry, C. (13 mars 2018). LEO and MEO broadband constellations mega source of consternation. Récupéré à l'adresse <http://spacenews.com/divining-what-the-stars-hold-in-store-for-broadband-megaconstellations/>
- Hydro-Québec. (2018). Le Québec a subi en mars 1989 une panne générale d'électricité par suite d'une tempête solaire. Récupéré à l'adresse <http://www.hydroquebec.com/comprendre/notions-de-base/tempete-mars-1989.html>
- NASA. (22 novembre 2007). The Good, the Bad and the Ozone. Récupéré à l'adresse <https://www.nasa.gov/missions/earth/f-ozone.html>
- NASA. (février 2013). Russia Meteor Not Linked to Asteroid Flyby. Récupéré à l'adresse [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/asteroids/news/asteroid20130215.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/asteroids/news/asteroid20130215.html)
- NASA. (7 août 2017). The Day the Sun Brought Darkness. Récupéré à l'adresse [https://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun\\_darkness.html](https://www.nasa.gov/topics/earth/features/sun_darkness.html)
- NASA. (2018a). Decadal Survey.
- NASA. (4 janvier 2018b). NASA Study: First Direct Proof of Ozone Hole Recovery Due to Chemicals Ban. Récupéré à l'adresse <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/nasa-study-first-direct-proof-of-ozone-hole-recovery-due-to-chemicals-ban>
- NASA. (2018c, février). NSA Mission Launched; Will Revolutionize Our Understanding of Space Weather. Récupéré à l'adresse <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/nasa-mission-launched-will-revolutionize-our-understanding-of-space-weather>

NASA. (2018d, juin). Atmospheric Science Data Centre. Récupéré à l'adresse <https://eosweb.larc.nasa.gov/>

National Science and Technology Council. (2015a). *National Space Weather Action Plan*. Récupéré à l'adresse [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final\\_nationalspaceweatheractionplan\\_20151028.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final_nationalspaceweatheractionplan_20151028.pdf)

National Science and Technology Council. (2015b). *National Space Weather Strategy*. Récupéré à l'adresse [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final\\_nationalspaceweatherstrategy\\_20151028.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/final_nationalspaceweatherstrategy_20151028.pdf)

Ressources naturelles Canada. (20 juin 2016). Dangers naturels. Récupéré à l'adresse <https://www.rncan.gc.ca/risques/dangers-naturels>

Ressources naturelles Canada. (15 décembre 2017). Le programme Géoscience pour la sécurité publique. Récupéré à l'adresse <https://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/ressources/programmes-federaux/programme-geoscience-securite-publique/10912>

Ressources naturelles Canada. (29 mai 2018). Géomagnétisme. Récupéré à l'adresse <http://www.geomag.rncan.gc.ca/index-fr.php>

Condition féminine Canada. (25 mai 2017). Analyse comparative entre les sexes Plus. Récupéré à l'adresse <https://swc-cfc.gc.ca/gba-acis/index-fr.html>

Nations Unies. (2018). Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Récupéré à l'adresse [https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg\\_no=XXVII-2-a&chapter=27&clang=\\_fr](https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-2-a&chapter=27&clang=_fr)

Organisation météorologique mondiale. (2018a). Global Climate Observing System. Récupéré à l'adresse <https://public.wmo.int/en/programmes/global-climate-observing-system>

Organisation météorologique mondiale. (2018b). Global Framework for Climate Services. Récupéré à l'adresse <http://www.wmo.int/gfcs/about-gfcs>