



NRC·CNRC

Bureau de la vérification et de l'évaluation

Évaluation du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique

RAPPORT FINAL

Le 14 novembre 2016



National Research
Council Canada

Conseil national de
recherches Canada

Canada 

Rédigé par :

Le Bureau de la vérification et de l'évaluation
Conseil national de recherches du Canada

Approbation

Ce rapport a été approuvé par le président du CNRC le 14 novembre 2016.

Table des matières

Liste des tableaux	ii
Liste des figures	iii
Remerciements	iv
Sommaire	v
Acronymes	viii
1. Introduction	1
2. Profil du portefeuille Herzberg	2
2.1 Structure du Portefeuille et des programmes	3
2.2 Clients et parties prenantes	3
2.3 Ressources du Portefeuille	4
3. Pertinence	7
3.1 Adéquation du Portefeuille avec les besoins des astronomes canadiens.....	7
3.2 Adéquation du modèle actuel de prestation	16
3.3 Harmonisation avec les priorités du gouvernement fédéral et les objectifs stratégiques du CNRC	17
3.4 Harmonisation avec les rôles et responsabilités du gouvernement fédéral	20
4. Rendement	21
4.1 Efficacité	21
4.2 Efficience et économie	35
5. Conclusion	44
6. Réponse de la direction	45
Annexe A: Modèle logique du portefeuille Herzberg.....	A-1
Annexe B: Méthodologie	B-1
Annexe C: Aperçu des télescopes internationaux soutenus par le Canada	C-1
Annexe D: Cadre d'évaluation	D-1
Annexe E: Bibliographie	E-1

Liste des tableaux

Tableau 1 : Télescopes ayant reçu l'appui du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique entre 2011-2012 et 2015-2016	2
Tableau 2 : Portrait financier du portefeuille Herzberg (en millions de dollars)	4
Tableau 3 : Dépenses de subventions et contributions des accords des observatoires internationaux (en millions de \$)	5
Tableau 4 : Rapport demande/offre de temps de l'observatoire ALMA pour les chercheurs principaux canadiens, par cycle	13
Tableau 5 : Exemples de découvertes issues de l'utilisation des observatoires canadiens outre-mer	28
Tableau 6 : Exemples d'entreprises canadiennes participant à des projets d'instrumentation astronomique	31
Tableau 7 : Aspects et questions de l'évaluation	B-1
Tableau 8 : Résumé des entrevues avec les informateurs clés	B-4
Tableau 9 : Sommaire des entrevues faites pour les études de cas	B-5
Tableau 10 : Limites de l'évaluation, difficultés et stratégies d'atténuation	B-5
Tableau 11 : Observatoires outre-mer soutenus par le Canada	C-1

Liste des figures

Figure 1 : Le rapport demande/offre des Canadiens pour le TCFH, les télescopes Gemini Nord et Sud et le TJCM par semestre.....	12
Figure 2 : Données livrées par le CCDA à ses utilisateurs de 2005 à 2015 (en millions de gigaoctets)	14
Figure 3 : Flot des données à la connaissance	15
Figure 4 : Attribution de temps aux chercheurs principaux canadiens en pourcentage des heures attribuées aux Nord-Américains par cycle.	22
Figure 5 : Nombre normalisé d'articles publiés à partir de données des observatoires canadiens outre-mer et d'autres observatoires terrestres internationaux de 2010 à 2014	27
Figure 6 : Impact médian par article issu de données collectées par les télescopes canadiens outre-mer et d'autres observatoires internationaux de 2010 à 2014.....	27
Figure 7 : Pourcentage d'articles de fort impact tirés de données obtenues aux télescopes canadiens outre-mer et d'autres observatoires internationaux (90 ^e percentile), de 2010 à 2014	28
Figure 8 : Nombre et valeur des contrats par exercice	31
Figure 9 : Pourcentage de répondants satisfaits des différents aspects du processus de demande.....	37

Remerciements

Le Bureau de la vérification et de l'évaluation souhaite remercier la direction et le personnel du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique de leur soutien et de leur contribution à cette évaluation. L'équipe d'évaluation aimerait aussi exprimer sa gratitude aux membres du comité consultatif de l'évaluation pour leur orientation et leurs conseils. Pour finir, l'équipe d'évaluation aimerait remercier les partenaires du portefeuille Herzberg et les autres parties prenantes qui ont fourni une foule d'informations et offert des perspectives en soutien à cette évaluation.

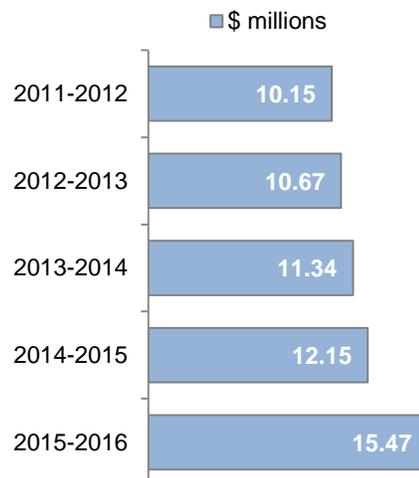
Sommaire

Description du Portefeuille

En vertu de la *Loi sur le Conseil national de recherches*, le CNRC peut « assurer le fonctionnement et la gestion des observatoires astronomiques mis sur pied ou exploités par l'État canadien ». Le portefeuille Herzberg du CNRC s'acquiesce de ce mandat qui inclut la participation canadienne à toutes les installations outre-mer actuelles ou futures. Le portefeuille Herzberg fournit les contributions financières, et il conçoit et construit les instruments en soutien à l'administration et au fonctionnement des observatoires soutenus par le Canada.

Pendant la période visée par l'évaluation, le portefeuille Herzberg a directement soutenu deux observatoires canadiens en Colombie-Britannique, l'Observatoire fédéral d'astrophysique (OFA) et l'Observatoire fédéral de radioastrophysique (OFRA), et six observatoires outre-mer : le télescope Canada-France-Hawaï (TCFH), les télescopes Gemini, le télescope James Clerk Maxwell (TJCM), le grand réseau millimétrique/sous-millimétrique de l'Atacama (ALMA), le Télescope de trente mètres (TMT) et le réseau d'un kilomètre carré (SKA).

Dépenses de S et C des accords sur les observatoires internationaux



Portée et méthodologie

L'évaluation a considéré le portefeuille Herzberg et les dépenses de programme de l'exercice 2011-2012 à celui de 2015-2016. La portée de l'évaluation n'inclut pas une évaluation complète et approfondie du rendement des services internes du CNRC. Conformément à la *Politique sur l'évaluation* du Secrétariat du Conseil du trésor du Canada, l'évaluation traitera des enjeux centraux de pertinence et de rendement, incluant l'efficacité, ainsi que l'efficience et l'économie.

Difficultés et limites

- L'évaluation n'a pas évalué le degré de satisfaction des clients du CCDA.
- Les indicateurs clés de rendement du CNRC utilisés pour évaluer l'efficacité n'incluent pas les frais administratifs généraux du CNRC.

Conclusions générales de l'évaluation

L'évaluation a conclu que le Portefeuille est conforme aux mandats du CNRC et du gouvernement fédéral. Qui plus est, le portefeuille Herzberg satisfait aux besoins de la communauté astronomique canadienne puisqu'il s'assure que ses activités et des priorités de financement cadrent avec le Plan à long terme (PLT 2010) de la Société canadienne d'astronomie (CASCA). Les astronomes canadiens indiquent que le portefeuille joue un rôle crucial de représentation des intérêts de la communauté astronomique internationale au palier international par sa participation aux observatoires actuels et à venir. En outre, les installations du portefeuille, l'OFA et l'OFRA, sont uniques au Canada, car ils apportent une capacité de base et une expertise pour le développement d'instruments pour les observatoires.

Le rendement du portefeuille Herzberg a été excellent et il a eu des répercussions importantes par son soutien des observatoires canadiens outre-mer ainsi que d'autres télescopes ailleurs sur la planète. Le soutien du Portefeuille a principalement été centré sur un soutien financier et la création d'instruments et

de technologies de classe mondiale. Le Portefeuille a collaboré à des projets instrumentaux avec l'industrie qui se sont traduits par des résultats positifs pour les entreprises partenaires. La plupart des parties prenantes perçoivent que le portefeuille Herzberg est vital aux résultats du Canada en astronomie.

Lors de l'évaluation, nous avons aussi découvert que le portefeuille Herzberg faisait face à des difficultés opérationnelles qui pourraient avoir des répercussions sur sa capacité à atteindre ses objectifs. Ces difficultés comprenaient les retards dans les acquisitions, l'allongement des échéanciers pour les mesures de dotation et les limites du soutien à la clientèle des TI pour les ordinateurs de bureau. En outre, nous avons constaté que le transfert de l'infrastructure informatique du portefeuille Herzberg à Services partagés Canada (SPC) s'est traduit par des répercussions majeures sur son aptitude à planifier, à mettre en œuvre et à acheter du matériel informatique et la capacité du réseau. Malgré ces difficultés, le Portefeuille a, de façon constante, livré aux observatoires des instruments conformes aux spécifications requises tout en respectant les délais et les budgets.

Le tableau ci-dessous présente l'évaluation globale du rendement du portefeuille Herzberg ventilé par question d'évaluation.

Évaluation du rendement du Portefeuille

Légende : ● Répond aux attentes ● Secteur faiblement préoccupant
 ● Secteur modérément préoccupant ● Attention nécessaire de la part de la direction

Question	Évaluation	Recommandations connexes
Pertinence		
Adéquation avec les besoins des astronomes canadiens	●	1
Adéquation du modèle actuel de prestation	●	Aucune
Harmonisation avec les priorités du gouvernement fédéral et les objectifs stratégiques du CNRC	●	2, 3
Harmonisation avec les rôles et responsabilités du gouvernement fédéral	●	Aucune
Rendement		
Assurer aux astronomes canadiens un accès aux télescopes nationaux et internationaux et aux produits de données scientifiques	●	4
Répercussions scientifiques des télescopes internationaux administrés et exploités par le portefeuille Herzberg	●	Aucune
Contribution à la création d'instruments et de technologies novateurs	●	Aucune
Impacts des instruments et technologies créés par le portefeuille Herzberg sur la science et l'industrie	●	Aucune
Soutien des universités canadiennes relativement à la formation des étudiants et des chercheurs postdoctoraux	●	Aucune
Contribution au renforcement de la position du Canada en astronomie et en astrophysique	●	Aucune

Efficienc e et économie

Le portefeuille Herzberg est administré de manière économique et efficace		Aucune
Les risques et éléments cruciaux qui ont affecté la mobilisation des ressources par le portefeuille Herzberg de manière économique et efficace		5

Recommandations

Réponse de la direction

- | | |
|---|---|
| <p>1. Le bureau de la vice-présidente (BVP) des technologies émergentes — Infrastructures nationales et technologies d'avenir, en consultation avec le portefeuille Herzberg d'astronomie et d'astrophysique devrait considérer la mise en place d'un processus officiel de consultation pour permettre à la communauté astronomique canadienne de donner des conseils stratégiques sur les activités et priorités scientifiques du Portefeuille.</p> | <p>Acceptée. Le CNRC examinera les mécanismes appropriés pour recevoir régulièrement des conseils de la part de la communauté astronomique et concevra une proposition pour un processus au cours de l'exercice 2017-2018.</p> |
| <p>2. Le portefeuille Herzberg devrait continuer sa collaboration avec des partenaires pour accroître ses activités de vulgarisation et de rayonnement.</p> | <p>Acceptée. Le portefeuille continuera à collaborer avec des partenaires pour étendre ses activités de vulgarisation. Un nouveau modèle visant à optimiser l'utilisation du Centre de l'Univers sera exploré.</p> |
| <p>3. Le portefeuille Herzberg, en collaboration avec d'autres portefeuilles du CNRC et le Soutien à la gestion des affaires (SGA) du CNRC devraient explorer les possibilités de tirer parti des compétences et des technologies utilisées en astronomie.</p> | <p>Acceptée. Le portefeuille Herzberg, avec l'appui du bureau de la vice-présidente (BVP) des technologies émergentes — Infrastructures nationales et technologies d'avenir entamera des discussions avec la communauté élargie du CNRC et s'assurera que les compétences et la propriété intellectuelle du portefeuille sont connues et partagées.</p> |
| <p>4. Le portefeuille Herzberg d'astronomie et d'astrophysique devrait découvrir les raisons pour lesquelles le temps d'observation attribué aux chercheurs principaux du Canada n'est pas proportionnel à son soutien financier au fonctionnement d'ALMA et, au besoin, prendre les mesures adéquates que l'on aura discernées.</p> | <p>Acceptée. Le portefeuille Herzberg collaborera avec la communauté astronomique canadienne et la NSF des États-Unis pour comprendre pourquoi le temps d'observation attribué aux chercheurs principaux du Canada n'est pas proportionnel à sa part des contributions au consortium nord-américain et il tentera d'éliminer tout obstacle à l'accès du Canada.</p> |
| <p>5. Le portefeuille Herzberg, de concert avec les SSIT devrait poursuivre ses efforts de recherche de solutions pour améliorer le matériel informatique et l'accès à grand débit au réseau du CCDA.</p> | <p>Acceptée. Le CNRC continuera ses efforts pour trouver une solution pour s'assurer que les services du CCDA aux clients ne sont pas touchés.</p> |

Acronymes

ACURA	Association canadienne d'universités pour la recherche en astronomie
AFB	Amplificateur à faible bruit
AIT	Accords internationaux sur les télescopes
ASC	Agence spatiale canadienne
CANFAR	Réseau canadien avancé pour la recherche en astronomie
CASCA	Société canadienne d'astronomie (Canadian Astronomical Society)
CCAT	Comité canadien d'attribution de temps
CCDA	Centre canadien de données astronomiques
IHP	Informatique de haute performance
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
CSP	Processeur central des signaux
EMPLT 2010	Examen à mi-parcours du Plan à long terme 2010
ESPaDOs	Dispositif spectro-polarimétrique échelle pour l'observation stellaire
FCI	Fondation canadienne pour l'innovation
GAM	Groupe d'astronomie millimétrique
GPI	Imageur planétaire Gemini
IHA	Institut Herzberg d'astrophysique
IRC	Indicateurs de rendement clés
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NRAO	National Radio Astronomy Observatory
OA	Optiques adaptatives
OFA	Observatoire fédéral d'astrophysique
OFRA	Observatoire fédéral de radioastrophysique
PAndAS	Levé archéogalactique pan-Andromède
PAO	Programme d'astronomie optique
PLT 2000	Plan à long terme 2000
PLT 2010	Plan à long terme 2010
PRA	Programme de radioastronomie
PTA	Programme de technologies pour l'astronomie
RCP	Réseau de capteurs à contrôle de phase
RNCan	Ressources Naturelles Canada
SOAIFCE	Système d'optique adaptative dans l'infrarouge pour champ étroit
SPC	Services partagés Canada
SSIT	Services du savoir, de l'information et des technologies
WIDOR	Architecture numérique interférométrique à large bande

Télescopes

AAT	Télescope Anglo-Australien
ALMA	Grand réseau millimétrique et sous-millimétrique de l'Atacama
CHIME	Expérience canadienne de cartographie de l'intensité de l'hydrogène
ESO3p6	Télescope de 3,6 m de l'Observatoire austral européen
EVLA	« VLA » étendu
GBT	Télescope de Green Bank
HET	Télescope Hobby-Eberly
HST	Télescope spatial Hubble
IRAM-30m	Institut de radioastronomie millimétrique
IRTF	Installation du télescope infrarouge

Évaluation du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique

JVLA	Le grand réseau Jansky
JWST	Télescope spatial James-Webb
LBT	Le grand télescope binoculaire
MMT	Le télescope monolithique massif
NTT	New Technology Telescope
SALT	Grand télescope de l'Afrique du Sud
SKA	Réseau d'un kilomètre carré
SOAR	Observatoire austral de recherche en astrophysique
TCFH	Télescope Canada-France-Hawaï
TJCM	Télescope James Clerk Maxwell
TMT	Télescope de trente mètres
TNG	Telescopio Nazionale Galileo
UKIRT	Télescope infrarouge du Royaume-Uni
VLT	Le très grand télescope

1. Introduction

Ce rapport présente les conclusions de l'évaluation 2015-2016 du portefeuille Herzberg d'astronomie et d'astrophysique (le portefeuille Herzberg ou le Portefeuille) du Conseil national de recherches du Canada (CNRC). L'évaluation du portefeuille Herzberg a été réalisée au cours de l'exercice 2016-2017. Le calendrier de l'évaluation a été limité par les exigences légales de la *Loi sur l'administration financière* qui imposait que l'évaluation de la contribution du portefeuille Herzberg aux observatoires internationaux fût terminée en novembre 2016.

Lors de l'évaluation, nous avons examiné le portefeuille Herzberg et les dépenses de programme sur cinq ans, soient les exercices 2011-2012 à 2015-2016. Toutefois, lors de l'examen des répercussions scientifiques et industrielles de la construction d'instruments par le Portefeuille, les évaluateurs ont considéré les activités réalisées avant l'exercice 2011-2012.

L'évaluation a été menée par une équipe indépendante du Bureau de la vérification et de l'évaluation (BVE) du CNRC et portait sur les questions fondamentales liées à la Politique sur l'évaluation du Conseil du Trésor de 2009, notamment la pertinence et le rendement (efficacité, efficience et économie). Les évaluateurs ont considéré les questions issues d'un examen des documents de programme clés et en consultation avec la direction du Portefeuille et la vice-présidente, Technologies émergentes.

La méthodologie d'évaluation utilisait de multiples sources de données probantes et des processus de recherche complémentaires comme moyens d'améliorer la fiabilité et la validité des renseignements et des données recueillies. La méthodologie repose sur les sources de données suivantes :

- examen des documents et des publications
- analyse des données financières, administratives et sur le rendement
- enquête sur les utilisateurs de télescopes canadiens (95 répondants)
- entretien avec informateurs clés (13 personnes à l'interne et 18 à l'externe)
- études de cas (4 cas et 18 entretiens)

Une description plus détaillée de la méthodologie de l'étude et de ses limites est présentée à l'*Annexe B: Méthodologie*.

La section 2 du rapport donne une brève description du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique. Les sections 3 et 4 donnent les conclusions de l'étude d'évaluation présentées en fonction des questions d'évaluation larges (pertinence et rendement) ainsi que les recommandations connexes. La section 5 présente les conclusions tirées de l'évaluation, et la section 6 est constituée de la réponse de la direction aux recommandations et des mesures qui en résulteront.

2. Profil du portefeuille Herzberg

À la fin des années soixante, la *Loi sur le Conseil national de recherches* donne au CNRC le mandat d'« assurer le fonctionnement et la gestion des observatoires astronomiques mis sur pied ou exploités par l'État canadien » (Justice Canada 2009). En 1974, l'interprétation du mandat du CNRC fut élargie pour inclure la participation canadienne dans les observatoires outre-mer découlant de l'accord avec la France et l'Université d'Hawaï pour fonder la société du télescope Canada-France-Hawaï. Restructuré en 2012, le portefeuille Herzberg continue à exécuter les programmes antérieurement réalisés par l'institut Herzberg d'astrophysique (IHA) pour s'acquitter du mandat énoncé dans la *Loi sur le Conseil national de recherches*, notamment la participation du Canada dans toutes les installations outre-mer actuelles et futures.

D'une part, la *Loi sur le Conseil national de recherches* sous-tend les activités du CNRC dans la recherche astronomique, mais, d'autre part, les activités du portefeuille Herzberg sont principalement guidées par le *Plan à long terme de 2010* de la Société canadienne d'astronomie (PLT 2010), un plan décennal décrivant les grands objectifs et orientations de la recherche en astronomie et en astrophysique au Canada. Le PLT 2010 qui est la suite du PLT 2000, dresse un plan visant à « maintenir la position du Canada dans les échelons les plus élevés de l'astronomie internationale » [trad.] en obtenant la participation du Canada dans les meilleurs observatoires terrestres et spatiaux — existants ou à venir — du monde (CASCA 2010, p. 1–9).

Au cours de la période couverte par l'évaluation, le portefeuille Herzberg a directement soutenu deux observatoires nationaux situés en Colombie-Britannique et six observatoires outre-mer (présentés au Tableau 1). On trouvera à l'*Annexe C: Aperçu des observatoires internationaux soutenus par le Canada*, une description de ces installations outre-mer.

Tableau 1 : Télescopes ayant reçu l'appui du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique entre 2011-2012 et 2015-2016

Télescope	Lieu
Observatoires nationaux	
Observatoire fédéral d'astrophysique (OFA)	Victoria (Colombie-Britannique)
Observatoire fédéral de radioastrophysique (OFRA)	Penticton (Colombie-Britannique)
Observatoires outre-mer	
Télescope Canada-France-Hawaï (TCFH)	Sommet du Mauna Kea (Hawaï)
Télescopes Gemini	(G. nord) Sommet du Mauna Kea (Hawaï) (G. sud) Cerro Pachón (Chili)
Télescope James Clerk Maxwell (TJCM)*	Sommet du Mauna Kea (Hawaï)
Observatoire ALMA (Grand Réseau millimétrique et sous-millimétrique de l'Atacama)	Plateau Chajnantor, désert de l'Atacama, Chili
Télescope de trente mètres (TMT) – en construction	Sommet du Mauna Kea (Hawaï) (selon les plans)
Réseau d'un kilomètre carré (SKA)** — préconstruction	Australie et Afrique du Sud (selon les plans)

* Le 30 septembre 2014, le CNRC se retira du partenariat du TJCM et cessa ses contributions financières.

** Bien que le Canada se soit engagé dans la phase de préconstruction du SKA, le gouvernement fédéral n'a pas encore pris de décision sur sa participation aux phases de construction et d'exploitation du SKA.

Un modèle logique créé lors de la planification de l'évaluation détaille les activités, les résultats et les objectifs escomptés du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique (*Annexe A: Modèle logique*). Un aperçu du portefeuille Herzberg qui couvre ses programmes, ses clients, ainsi que ses ressources financières et humaines suit.

2.1 Structure du Portefeuille et des programmes

Pour s'acquitter de son mandat et réaliser le PLT 2010, le portefeuille Herzberg exécute trois programmes : le Programme d'astronomie optique (PAO), le Programme de radioastronomie (PRA) et le Programme de technologies pour l'astronomie (PTA). Bien que les programmes du portefeuille Herzberg fussent créés comme des composantes distinctes en réponse à la restructuration du CNRC, ils sont fortement intégrés dans le Portefeuille et plusieurs de leurs activités sont interreliées. Chaque élément du programme est brièvement décrit ci-dessous.

- **Programme d'astronomie optique (PAO) :** Ce programme soutient et facilite l'accès des astronomes canadiens aux télescopes optiques, ultraviolets et infrarouges. Le personnel du programme assure le soutien en nature et contractuel de l'exploitation des observatoires du Canada et joue le rôle d'intermédiaire entre la communauté astronomique canadienne et le TCFH et les télescopes Gemini¹. Il est aussi responsable du Centre canadien des données astronomiques (CCDA), l'installation de gestion et d'archivage de données astronomiques du Canada, qui offre des services de gestion de données et de technologie de l'information aux astronomes du Canada et d'ailleurs.
- **Programme de radioastronomie (PRA) :** Ce programme soutient et facilite l'accès des Canadiens aux observatoires millimétriques ou sous-millimétriques et centimétriques. Le programme comporte deux groupes : le Groupe d'astronomie millimétrique (GAM) et l'Observatoire fédéral de radioastrophysique (OFRA). Le premier agit comme intermédiaire entre la communauté astronomique canadienne et l'observatoire ALMA, la seule installation outre-mer d'observation sous-millimétrique du Canada. L'OFRA offre des services scientifiques et techniques en soutien aux radiotélescopes nationaux et internationaux du Canada.
- **Programme de technologies pour l'astronomie (PTA) :** Ce programme est responsable de la conception et de la construction d'instruments et d'infrastructures d'observations des télescopes nationaux et internationaux soutenus par le Canada. Se fondant sur ses équipes multifonctionnelles, le PTA offre des services techniques et des conseils, notamment la gestion de projet, le génie de système, l'optique adaptative, le génie mécanique, électrique, optique et radio, la science de l'instrumentation, la technologie des ondes millimétriques, le logiciel et les commandes.

2.2 Clients et parties prenantes

Par la nature de son mandat d'exploiter et d'administrer les télescopes du Canada, les principaux clients du portefeuille Herzberg sont les astronomes professionnels et les étudiants des universités canadiennes qui ont accès aux télescopes pour réaliser leurs recherches. Pour satisfaire aux besoins de ces chercheurs, le portefeuille Herzberg forme des partenariats avec des collaborateurs du Canada et d'ailleurs. Ainsi, contrairement aux autres portefeuilles du CNRC, le portefeuille Herzberg n'est pas au service d'un segment industriel particulier qui paie

¹ L'accord international d'exploitation de l'observatoire Gemini exige que chaque pays partenaire constitue un bureau national qui participera à l'exploitation de l'observatoire. Au Canada, le bureau Gemini national (BGN) soutient la communauté astronomique canadienne sur les plans du processus des demandes de temps d'observation, des capacités et de l'instrumentation.

pour des services de recherche et développement. Les principaux clients et groupes de parties prenantes du Portefeuille sont :

- **Le milieu universitaire** : les principaux clients du portefeuille Herzberg sont les astronomes canadiens, essentiellement des professeurs, des étudiants aux cycles supérieurs et des chercheurs postdoctoraux des universités. En créant des partenariats avec d'autres pays pour la construction, la mise en service et l'exploitation d'observatoires, le gouvernement du Canada, par le truchement du CNRC, offre aux astronomes canadiens un accès aux télescopes multinationaux. De plus, le CNRC consulte et collabore avec l'Association canadienne d'universités pour la recherche en astronomie (ACURA) et la Société canadienne d'astronomie pour s'assurer que ses activités répondent aux besoins de la communauté astronomique.
- **Partenaires des observatoires** : Le portefeuille Herzberg, au nom de la communauté astronomique canadienne, collabore avec d'autres pays et des organisations internationales pour créer des partenariats qui construiront, exploiteront et administreront des observatoires internationaux.
- **Industrie** : Le portefeuille Herzberg collabore avec des entreprises du Canada et d'ailleurs pour créer des instruments et projets de développement majeurs. Les contrats avec ces entreprises portent habituellement sur l'acquisition de pièces et d'assemblage uniques.
- **Agence spatiale canadienne (ASC)** : Le portefeuille Herzberg collabore avec l'ASC en fournissant des ressources scientifiques et techniques en soutien à l'Agence et ses sous-traitants industriels dans le cadre de projets internationaux d'astronomie spatiale.

2.3 Ressources du Portefeuille

2.3.1 Ressources financières

Le Tableau 2 montre les dépenses totales et les sources de financement du portefeuille Herzberg depuis l'exercice 2012-2013. Au courant de cette période, les programmes du Portefeuille ont généré des revenus globaux de 9,96 millions de dollars. Plus du tiers de ces revenus (37 %) ont été produits pendant l'exercice 2015-2016, en majeure partie (2,5 millions de dollars) par le Programme de technologies pour l'astronomie (PTA) pour les projets instrumentaux MeerKAT, Gemini High-Resolution Optical Spectrograph (GHOST) et Spectro-polarimètre Infra-Rouge (SPIRou) du TCFH.

Tableau 2 : Portrait financier du portefeuille Herzberg (en millions de dollars)

	Exercices			
	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
Dépenses				
Salaires	14,08	14,58	13,83	14,08
Opérations directes	4,50	4,73	5,18	6,89
Opérations indirectes et installations	0,58	0,74	0,55	0,81
Total	19,15	20,05	19,56	21,78
Sources de financement				

	Exercices			
	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
Revenus	2,20	1,67	2,43	3,66
Crédits parlementaires	16,95	18,38	17,13	17,77
Financement du TMT	—	—	—	0,35
Total	19,15	20,05	19,56	21,78
Dépenses financées par d'autres sources				
Subventions et contributions	10,67	11,34	12,15	13,55
Subventions et contributions du TMT	—	—	—	1,91
Petites immobilisations	0,21	0,45	0,49	0,61

Source : Données administratives du Portefeuille.

Note : Les données financières de l'exercice 2011-2012 ne sont pas disponibles à cause de changement à la structure comptable du CNRC découlant de la transformation du CNRC.

2.3.2 Subventions et contributions à l'appui aux accords sur les télescopes internationaux

Le Tableau 3 montre les dépenses relatives à chaque observatoire dont le Canada est un partenaire.

Tableau 3 : Dépenses de subventions et contributions des accords sur les observatoires internationaux (en millions de \$)

Observatoires	Exercices				
	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
Actifs					
TCFH	3,11	3,12	3,32	3,57	4,25
Gemini	5,56	5,67	6,11	6,59	7,33
TJCM	0,70	0,12	0,13	0,06	—
ALMA	0,79	1,43	1,40	1,57	1,58
En construction					
TMT*	—	—	—	—	1,91
SKA	—	0,33	0,38	0,36	0,39
Total	10,15	10,67	11,34	12,15	15,47

Source des données financières : Direction des finances du CNRC.

* Le Canada a versé une contribution initiale de 1,9 million de dollars au projet TMT en 2015, la majorité de cette somme étant constitué du travail de conception réalisé par le personnel du portefeuille Herzberg, directement ou par contrat avec l'industrie, ce qui constitue sa « contribution en travail » au projet du TMT (contribution non financière).

Les dépenses pour les observatoires dont le Canada est un partenaire se sont accrues de 52 % entre les exercices 2011-2012 et 2015-2016, à une exception. Le Canada a réduit son soutien au TJCM avant de se retirer du partenariat en septembre 2014. Le financement du TJCM a alors été redirigé au soutien au fonctionnement de l'observatoire ALMA, tel que le recommandait le PLT 2000.

La hausse des contributions financières pour le fonctionnement des observatoires dépend de trois grandes causes :

1) La fluctuation du cours du dollar

Les contributions financières du Canada aux observatoires outre-mer sont ajustées en fonction de la valeur du dollar canadien relativement à la devise mentionnée dans l'accord régissant l'observatoire. Les fluctuations des devises étrangères et du cours du dollar produisent des incertitudes lors de l'établissement des budgets et l'estimation des coûts de fonctionnement des installations canadiennes outre-mer. Les résultats des entrevues indiquent qu'il s'agit de la principale cause des variations observées dans l'enveloppe du financement des subventions et contributions.

2) Changement dans les budgets des observatoires

Les besoins de financement du portefeuille Herzberg sont fondés sur les obligations découlant des accords relatifs aux télescopes internationaux (ATI). Les budgets des observatoires internationaux sont approuvés par les conseils de direction, dont le Canada est membre. Ces budgets fluctuent d'une année à l'autre.

Afin de tenir compte des deux difficultés décrites ci-dessus, on fixe une somme pour les subventions et contributions représentant environ 90 % des coûts annuels prévus de dix millions de dollars, et l'on effectue des ajustements en utilisant des budgets supplémentaires et des transferts internes².

3) Hausse du financement pour la construction et la mise en service du TMT

Le début des contributions annuelles en nature au TMT a produit une hausse de 27 % (3,3 millions de dollars) dans les dépenses pour les ATI, au cours de l'exercice 2015-2016. Dans son Budget 2015, le gouvernement fédéral a confirmé son engagement d'attribuer 243,2 millions de dollars sur neuf ans, pour la construction et la mise en service du TMT, répartis en 218,2 millions de dollars administrés par le CNRC et 25 millions de dollars versés à par la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI). On prévoit que cet investissement garantira une part de 15 % environ du projet TMT d'une valeur de 1,5 milliard de dollars. La première contribution financière au projet (1,9 million de dollars) est consignée dans l'exercice 2015-2016. Étant donnée la part de 15 % du Canada dans le projet, on prévoit qu'après la fin de la construction en 2026-2027, le Canada devra verser environ 6 millions de dollars par année pour les frais de fonctionnement.

2.3.3 Ressources humaines

Le nombre total d'employés du portefeuille Herzberg a baissé de 19 % au cours des cinq dernières années, passant de 170 à 137, principalement à cause de la centralisation des services communs de soutien (services communs du CNRC et Services partagés Canada). Les réductions ont touché en particulier le personnel de soutien technique (techniciens et administrateurs des systèmes informatiques) et du personnel de soutien administratif. Toutefois pendant la période de l'évaluation, le personnel de recherche fondamentale (agents du Conseil de recherche, agents de recherche et associés de recherche) s'est légèrement accru, passant de 77 en 2012 à 81 en 2016.

² À chaque exercice, le CNRC s'acquitte de ses obligations par un jeu d'échanges de financement par ajustements internes ou par un budget supplémentaire. Par exemple, le rapport ministériel sur le rendement de 2014-2015 indique que 2,2 millions de dollars en financement supplémentaire ont été fournis par le processus de budget supplémentaire et un transfert interne par le programme de paiement de transfert du CNRC. En particulier, 1,8 million des fonds de fonctionnement du Portefeuille ont été convertis en financement des contributions et environ 400 000 \$ ont été transférés du programme PARI du CNRC.

3. Pertinence

L'évaluation a examiné la pertinence du portefeuille Herzberg en fonction de quatre enjeux : l'adéquation du Portefeuille avec les besoins des astronomes canadiens (section 3.1), l'adéquation du modèle actuel de prestation d'administration et d'exploitation des télescopes du Canada sur le plan de la satisfaction des besoins des astronomes canadiens (section 3.2), l'alignement avec les priorités du gouvernement fédéral et les objectifs stratégiques du CNRC (section 3.3) et l'harmonisation avec les rôles et responsabilités du gouvernement fédéral (section 3.4).

3.1 Adéquation du Portefeuille avec les besoins des astronomes canadiens

L'évaluation a porté sur le degré d'adéquation du portefeuille Herzberg avec les besoins des astronomes canadiens. En particulier, nous avons examiné : les consultations de la communauté astronomique canadienne par le Portefeuille pour évaluer ses besoins; la justification de l'investissement dans les télescopes nationaux et internationaux; la demande d'accès aux observatoires du Canada outre-mer; et les besoins de la communauté astronomique canadienne d'un accès aux données de télescopes offert par le CCDA.

3.1.1 Consultations avec les communautés astronomiques canadienne et internationale

Besoins de la communauté astronomique canadienne issus des consultations

Constat n° 1 : *Les activités et priorités du portefeuille Herzberg sont étroitement alignées avec les besoins de la communauté astronomique canadienne.*

Pour s'assurer que ses activités et priorités d'investissement sont alignées avec les besoins de la communauté astronomique canadienne, le portefeuille Herzberg suit les orientations du PLT 2010 de la Société canadienne d'astronomie et consulte régulièrement les communautés astronomiques canadienne et internationale. Rassemblé par la Société canadienne d'astronomie et soutenu par le Conseil de recherches en sciences naturelles et génie (CRSNG), le CNRC, l'ASC, la FCI et l'ACURA, le Comité du PLT 2010 a été mandaté pour faire participer la communauté de recherche et dégager les priorités d'investissement en astronomie et astrophysique. Les astronomes canadiens que nous avons interviewés ont confirmé que les activités du portefeuille Herzberg sont alignées avec les recommandations et les objectifs du PLT 2010. Une revue à mi-parcours (RMP) du PLT entreprise en 2015 a reconfirmé les orientations du plan de 2010.

Le PLT 2010 contenait neuf recommandations pertinentes au rôle du portefeuille Herzberg de soutien à la participation canadienne aux observatoires terrestres et à leurs instruments. Bien que le portefeuille Herzberg ne soit pas tenu de mettre les recommandations en œuvre, il a mis en œuvre les sept recommandations qui pouvaient l'être. Ce résultat suggère que le Portefeuille est aligné avec les besoins de la communauté astronomique canadienne et y répond.

De plus, le portefeuille Herzberg consulte régulièrement la communauté astronomique canadienne en participant à divers comités. Le personnel du portefeuille Herzberg participe au Comité canadien d'attribution de temps et à différents comités de la Société canadienne d'astronomie. Le Comité canadien d'attribution de temps compte onze membres d'universités canadiennes et américaines et deux membres du portefeuille Herzberg. En outre, en juillet 2016, des employés du portefeuille Herzberg participaient à neuf des onze comités de la

CASCA. La participation à ces organisations astronomiques nationales permet au portefeuille d'interagir directement avec la communauté astronomique canadienne et de mieux comprendre ses besoins.

Perspectives sur le besoin d'un comité consultatif pour le portefeuille Herzberg

Constat n° 2 : *Il est nécessaire de créer un processus officiel de consultation, tel un comité consultatif externe, afin que la communauté astronomique canadienne puisse donner des conseils sur les activités et les priorités stratégiques du portefeuille Herzberg.*

Avant la transformation du CNRC, chacun de ses instituts avait son comité consultatif qui lui prodiguait des conseils stratégiques sur ses activités et priorités. Le comité consultatif de l'institut Herzberg du CNRC donnait des conseils stratégiques à son directeur général³ relativement aux programmes et activités de l'Institut. Ce comité donnait notamment :

- des conseils d'experts sur les tendances et les progrès pertinents pour l'Institut
- des commentaires sur les enjeux de recherche, de la technologie et de l'innovation
- des conseils à la gestion sur les directions et priorités stratégiques
- une surveillance de l'alignement des programmes de l'Institut avec les priorités du PLT
- un soutien à l'institut dans l'exécution de son mandat national.

Le comité consultatif a été dissout en 2011, comme tous les autres comités consultatifs des instituts du CNRC. Conséquemment, il n'existe plus de mécanisme officiel par lequel la communauté astronomique du Canada peut émettre ses commentaires au Portefeuille sur les priorités et objectifs relatifs à l'astronomie. La Revue à mi-parcours du PLT 2010 a souligné ce problème et a recommandé que l'on rétablisse le comité consultatif du portefeuille Herzberg du CNRC, formé de représentants de premier plan de l'université et de l'industrie qui conseillera le portefeuille sur ses activités et programmes et afin de représenter plus efficacement les intérêts de la communauté astronomique (CASCA 2016, p. 99).

Certains informateurs internes et la plupart des informateurs externes interviewés ont exprimé leur appui à la création d'un processus ou d'un mécanisme officiel de consultation, tel un comité consultatif externe, ce qui permettrait à la communauté astronomique canadienne de faire des commentaires stratégiques sur les activités du portefeuille Herzberg. Cela dit, des informateurs clés ont reconnu que le Portefeuille consulte la communauté de façon informelle.

Des informateurs clés ont fait remarquer que puisque le CNRC administre le programme national d'astronomie, l'on devrait établir les activités et priorités stratégiques du portefeuille Herzberg en consultation étroite avec les astronomes canadiens qui constituent la communauté centrale des clients du Portefeuille. Quelques informateurs clés nous ont souligné le besoin de consultations plus fréquentes entre le Portefeuille et la communauté astronomique (par ex. annuellement), puisque le Plan à long terme et la RMP ne sont faits que tous les cinq ans. Selon les informateurs clés, la création d'un comité consultatif présenterait des avantages potentiels, notamment :

- permettre une certaine transparence et une surveillance des activités du Portefeuille
- engendrer un climat de confiance entre le Portefeuille et la communauté de ses clients
- permettre des consultations plus fréquentes sur les priorités entre le portefeuille et la communauté astronomique canadienne (annuellement plutôt qu'à tous les cinq ans)

³ En conséquence de la transformation du CNRC, le titre des dirigeants de portefeuille a été changé de directeur général (DG) à gestionnaire principal (GP).

- informer la communauté des difficultés auxquelles le portefeuille Herzberg est actuellement confronté

En contrepartie, quelques informateurs clés ont signalé que la création d'un comité consultatif externe engendrerait probablement des frais supplémentaires (par ex., le déplacement et l'hébergement des membres du comité) qui devraient être inscrits au budget de fonctionnement du Portefeuille. La création d'un nouveau comité impliquerait que le Portefeuille et la communauté astronomique devront consacrer plus de temps à la rédaction de nouveaux rapports obligatoires et à la préparation de réunions. Quelques informateurs clés ont remarqué que si l'on créait un nouveau processus de consultation, on devra gérer les attentes de la communauté sur le degré d'influence du comité sur les activités du portefeuille Herzberg. Si, d'une part, le comité donnait des conseils stratégiques au portefeuille Herzberg, d'autre part, il n'aurait aucune autorité directe sur les activités du programme (c.-à-d. que le Portefeuille est responsable de réaliser le mandat du CNRC).

Recommandation n° 1 : Le bureau de la vice-présidente (BVP) des technologies émergentes — Infrastructures nationales et technologies d'avenir, en consultation avec le portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique, devrait considérer la mise en place d'un processus officiel de consultation pour permettre à la communauté astronomique canadienne de donner des conseils stratégiques sur les activités et priorités scientifiques du Portefeuille.

Consultations de la communauté astronomique internationale

Outre ses consultations avec la communauté astronomique canadienne, le portefeuille Herzberg participe à des consultations avec des partenaires internationaux dans le cadre de sa participation à la gestion des observatoires internationaux.

En juillet 2016, le portefeuille Herzberg était représenté dans les comités de cinq observatoires internationaux : le TCFH, les télescopes Gemini, l'ALMA, le TMT et le SKA. Les données indiquent que quatorze représentants du Portefeuille sont membres de douze conseils et comités des cinq observatoires. Et surtout, le Portefeuille délègue au moins un représentant au Conseil et au Comité consultatif scientifique de chacun des observatoires. Grâce à cette participation, le Portefeuille acquiert une meilleure compréhension des besoins et des exigences des partenaires de chaque observatoire et représente les intérêts de la communauté astronomique canadienne relatifs à chaque observatoire.

3.1.2 Le besoin d'un accès aux observatoires canadiens et internationaux

Constat n° 3 : Le portefeuille Herzberg doit soutenir l'administration et le fonctionnement des télescopes afin de s'assurer que les astronomes canadiens ont accès à des installations de classe mondiale.

Le besoin d'accès à des installations internationales

Notre évaluation a confirmé les conclusions de l'évaluation de 2011 et de l'étude *Astronomy in Canada* produite en 2011 par la firme Hickling Arthurs Low (HAL 2011) qui mentionnait l'importance de la contribution canadienne aux télescopes internationaux :

- **Le partage parmi les pays des coûts d'installations et d'instruments de recherche toujours plus chers et complexes** : L'ampleur, le coût et la complexité technologique de la construction des grands télescopes entraînent l'« internationalisation » de la production

de l'instrumentation et de l'infrastructure des grands télescopes. C'est pourquoi le Canada et d'autres pays recourent à des partenariats internationaux qui exigent normalement des contributions financières et en nature, pour exploiter et gérer les observatoires.

- **Créer des occasions de contrat pour l'industrie et les universités canadiennes** : Par exemple, l'investissement du Canada dans les observatoires SKA et TMT entraînera probablement de nouveaux avantages commerciaux aux entreprises canadiennes ce qui se traduira en possibilité d'attirer et de retenir des travailleurs très spécialisés dans la main-d'œuvre canadienne (CASCA 2016, p. 46; Doyletech 2014). Des occasions de contrat sont aussi suscitées par le TCFH et les observatoires Gemini et ALMA.
- **Principe du donnant-donnant** : Les contributions financières et non financières garantissent au Canada du temps de télescope à un observatoire et l'occasion de participer à la structure de gouvernance de l'installation. Cela donne au Canada la capacité de promouvoir de sa communauté astronomique et d'avoir une certaine influence sur l'orientation scientifique de l'observatoire.
- **Accès aux observatoires pour effectuer des recherches compétitives** : Les astronomes canadiens ont besoin d'un accès à des installations de classe mondiale pour effectuer des recherches compétitives comme le souligne le PLT 2010 (CASCA 2010).

Selon les informateurs clés, deux autres raisons de soutenir les observatoires internationaux sont :

- **Les collaborations** : Les partenariats autour des observatoires sont par nature multilatéraux et rassemblent des partenaires de différents pays. Ils facilitent l'échange de connaissance et de personnel grâce à des projets de recherche.
- **La formation des étudiants** : L'accès aux observatoires internationaux est crucial à la formation d'étudiants en leur permettant d'acquérir une expérience « sur le terrain » (rédaction de propositions, réalisation de leurs propres observations).

Le besoin d'accès à des installations canadiennes

Le soutien des observatoires nationaux au Canada, l'OFA et l'OFRA et leur exploitation ont plusieurs objectifs, notamment la formation des étudiants, la contribution à la science et l'appui aux projets instrumentaux des observatoires internationaux du Canada. On peut citer les nouvelles recherches et découvertes à l'aide de télescopes nationaux du Canada :

- En 2012, un nouveau module polarimétrique (dimaPol) installé sur le télescope Plaskett de 1,8 m sert à détecter de nouvelles étoiles magnétiques et à déterminer les périodes de rotation et les courbes du champ magnétique longitudinal (Bohlender et Monin 2013; Monin, Bohlender, Hardy, Saddlemyer et Fletcher 2012).
- Le fonctionnement du télescope de 1,2 m de l'OFA a été automatisé et adapté à l'observation à distance, ce qui permet aux utilisateurs d'accéder à distance au télescope grâce à Internet. Cette possibilité a permis d'accroître de 50 % la quantité de temps demandée par les utilisateurs puisqu'ils n'ont plus à voyager jusqu'à Saanich pour réaliser leurs observations (Monin, Saddlemyer et Bohlender 2014).

- Le radiotélescope John A. Galt de 26 m de l'OFRA est l'un des meilleurs instruments mondiaux pour l'étude du rôle des champs magnétiques pour la structure et la physique du milieu interstellaire (la matière qui se trouve entre les étoiles).
- Le moniteur automatique du flux radio solaire de l'OFRA fournit l'indice d'activité du flux solaire à 10,7 cm, à l'ASC et à Ressources naturelles Canada (RNCAN), ce qui permet la distribution de ces données à nombre d'agences autour du monde, notamment la National Aeronautics and Space Administration (NASA), la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et le département de la défense des États-Unis (RNCAN 2015).
- Le site de l'OFRA accueille aussi d'autres partenaires qui ont besoin d'une zone de silence radio, comme radiotélescope CHIME conçu pour la cartographie de l'intensité de la raie d'hydrogène neutre, actuellement en construction et qui servira à mesurer l'expansion de l'Univers.
- Les observatoires nationaux jouent aussi un rôle dans la vulgarisation de la science.

Le personnel de l'OFA et de l'OFRA appuie également la mise au point d'instruments et de technologies pour des observatoires internationaux soutenus par le Canada ainsi que pour d'autres observatoires autour du monde. La mise au point d'instruments et leur intégration à des télescopes internationaux font partie des principales activités du portefeuille Herzberg et pour lesquelles le Portefeuille est largement reconnu. Des consultations étroites entre les personnels de science et d'ingénierie des programmes du Portefeuille au cours du processus de mise au point des instruments assurent la pertinence et le succès des instruments qui sont créés. Par exemple, pendant environ 70 % du temps recherche disponible à l'observatoire Gemini, on utilise des instruments conçus et construits par le personnel du portefeuille Herzberg. On trouvera dans les sous-sections 4.1.1, 4.1.5 et 4.1.8, plus d'information sur la contribution du Portefeuille à la réputation mondiale du Canada pour la recherche astronomique, notamment sur le plan de la mise au point d'instruments et de technologies.

3.1.3 Adéquation de l'offre actuelle de télescopes internationaux avec les besoins des astronomes canadiens

Constat n° 4 : *Les télescopes actuellement appuyés par le Canada correspondent bien avec les besoins des astronomes canadiens.*

Degré d'adéquation

L'évaluation conclut que la participation canadienne aux accords relatifs aux télescopes internationaux correspond aux besoins des astronomes canadiens. En fait, presque tous les répondants à l'enquête (89 %) sont « fortement d'accord » ou d'« accord » que l'accès aux télescopes internationaux soutenus par le Canada était crucial pour satisfaire à leurs besoins scientifiques. La perception des répondants à l'enquête et des informateurs clés relativement aux télescopes appuyés par le Canada était généralement positive. Plus que les deux tiers des répondants à l'enquête (68 %) ont indiqué que l'offre actuelle de télescopes appuyés par le Canada correspond à leurs besoins de recherches. Au sujet des télescopes optiques, plusieurs informateurs clés ont mentionné que la participation du Canada au TCFH (classe des télescopes de 4 m), aux télescopes Gemini (télescopes de 10 m) et la participation au TMT (télescope de 30 m) étaient critiques pour le rôle du Canada dans les progrès en astronomie. En radioastronomie, certains informateurs externes clés applaudissent le Canada pour sa participation dans l'observatoire ALMA dont ils ont mentionné le potentiel de créer de nouveaux champs de recherche astronomique.

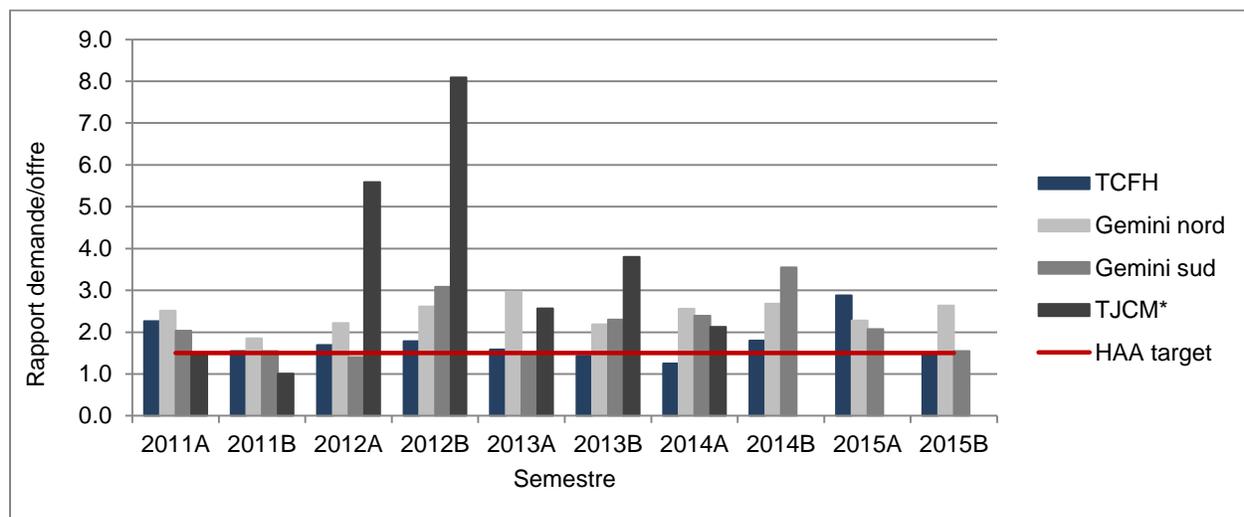
Toutefois, certains informateurs clés ont exprimé leur mécontentement relativement à la décision de la communauté astronomique de se retirer du TJCM et ont noté qu'étant donné que la participation à l'observatoire ALMA est proportionnellement plus petite, les astronomes canadiens ont plus de difficultés à obtenir du temps d'observation. Ces mêmes informateurs ont toutefois admis que la communauté astronomique avait largement accepté la décision de se retirer du TJCM et que le CNRC avait adéquatement mis en œuvre la décision de la communauté comme l'indiquait le PLT 2000, une affirmation répétée dans le PLT 2010.

Rapports demande/offre

La mesure habituelle de la demande d'accès par la communauté à un observatoire est le rapport « demande/offre », c'est-à-dire le rapport du temps demandé sur le temps disponible. (STF 2014, p. 22). Un rapport demande/offre supérieur à 1 signifie que la demande dépasse l'offre de temps de télescope.

Pendant la période d'évaluation, le rapport offre/demande au Canada pour les télescopes internationaux soutenus par le Canada était de 3,03, soit bien au-dessus de la cible de 1,5 du portefeuille Herzberg. Comme le montre la Figure 1, la demande de temps de télescope pour les observatoires outre-mer du Canada dépasse l'offre de temps disponible et le rapport demande/offre tombe rarement sous la cible du portefeuille Herzberg.

Figure 1 : Le rapport demande/offre des Canadiens pour le TCFH, les télescopes Gemini Nord et Sud et le TJCM par semestre



Source : Données sur le rendement du portefeuille Herzberg.

*Les rapports demande/offre du TJCM ne sont pas disponibles après le premier semestre 2014A, puisque le CNRC s'est retiré du partenariat du TJCM en septembre 2014.

De plus, la demande de temps pour l'observatoire ALMA a constamment dépassé l'offre, depuis le début des observations scientifiques en 2011. Le processus d'attribution du temps sur l'ALMA repose sur des cycles d'une longueur variant entre neuf et seize mois, qui sont beaucoup plus longs qu'un semestre (six mois normalement). Nous montrons donc les rapports demande/offre de l'observatoire de la part des chercheurs principaux canadiens au Tableau 4. Le rapport demande/offre des Canadiens pour l'observatoire ALMA est élevé, en moyenne 5,7 pendant les cycles 0 à 3, soit bien au-delà de la cible du portefeuille Herzberg.

Tableau 4 : Rapport demande/offre de temps de l'observatoire ALMA pour les chercheurs principaux canadiens, par cycle

Cycle	Date de début	demande/offre
Cycle 0	septembre 2011	11,68
Cycle 1	janvier 2013	3,33
Cycle 2	juin 2014	3,89
Cycle 3	octobre 2015	3,91

Source : Données sur le rendement du portefeuille Herzberg.

Bien qu'entre 2011 et 2015 la demande de temps pour les observatoires outre-mer du Canada dépassait généralement le temps offert, le rapport demande/offre a énormément fluctué pendant les cinq dernières années (comme le montrent la Figure 1 et le Tableau 4). Les partenaires des observatoires ont indiqué que le vieillissement des instruments, la mise en service de nouveaux et le choix de certains observatoires d'entreprendre de grands programmes de levé pouvaient avoir un effet sur le rapport demande/offre.

Accès à d'autres observatoires non soutenus par le Canada

On doit noter que si d'une part les constatations des entrevues avec les informateurs clés renforcent la justification de l'investissement dans l'ensemble actuel de télescopes canadiens, d'autre part, les astronomes canadiens ont aussi accès à des télescopes qui ne sont pas soutenus par le Canada. Les résultats de l'enquête montrent qu'entre 2011 et 2015, plus des deux tiers des répondants (69 %) ont obtenu du temps d'observation avec des télescopes terrestres non soutenus par le programme d'accords relatifs aux télescopes internationaux (ATI) du portefeuille Herzberg. Globalement, les répondants de l'enquête ont utilisé 62 observatoires différents. Lorsqu'on leur a demandé d'expliquer pourquoi ils utilisaient ces télescopes, les trois quarts des répondants environ (76 %) ont signalé que ces télescopes possédaient des instruments ou des capacités que ne possédaient pas les télescopes actuellement soutenus par le Canada.

Deux raisons cruciales influencent la décision d'utiliser des télescopes n'appartenant pas à la collection actuelle de télescopes canadiens :

- un souhait d'obtenir plusieurs sources de données d'une diversité de télescopes et d'instruments
- le besoin d'accéder des télescopes ayant des capacités uniques ou qui sont conçus pour certaines portions du spectre électromagnétique

Les astronomes canadiens ont accès à ces autres installations grâce à l'attribution de « temps ouvert » (politique de « ciel ouvert ») d'autres observatoires ou par le processus d'attribution de temps d'un autre pays (comme membre d'une équipe internationale). Fondamentalement, le concept d'accès ouvert repose sur des relations de contrepartie entre collaborateurs, alors que les pays ont un accès à d'autres installations pourvu qu'ils puissent offrir quelque chose en contrepartie. Ainsi, tant que le Canada sera perçu comme un pays qui contribue à soutenir la recherche (en appuyant financièrement les observatoires par les ATI ou en construisant des instruments pour les télescopes), les autres pays continueront à inviter les astronomes canadiens comme des collaborateurs.

3.1.4 Les besoins d'accès aux données de télescope par la communauté astronomique

Constat n° 5 : Afin que les astronomes canadiens puissent effectuer des recherches scientifiques novatrices en astronomie, le Canada devra investir dans les infrastructures et les capacités de gestion des données de recherches (par ex., conservation des données, catalogage, réseautage, l'informatique de haute performance, le logiciel et les capacités de gestion des données).

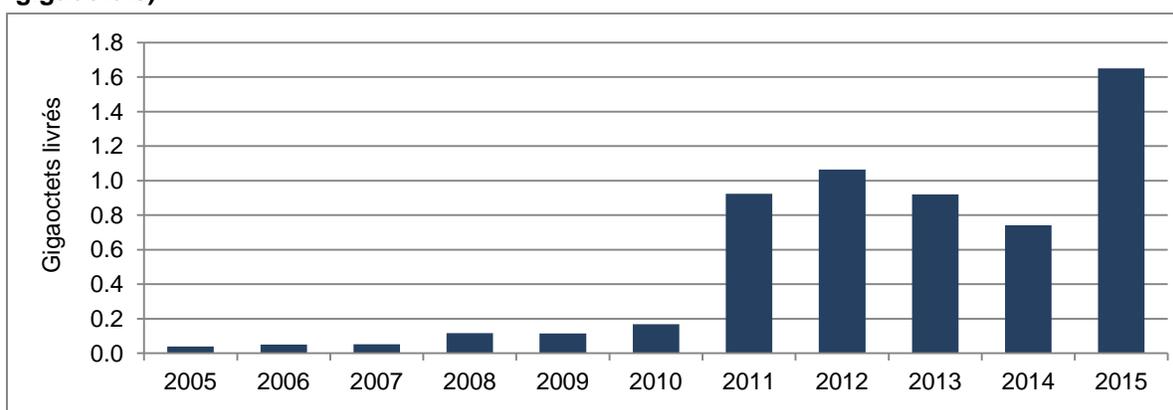
Besoins d'entreposage et mécanismes d'accès aux données

Le Centre canadien des données astronomiques (CCDA) est le point d'accès par lequel les chercheurs peuvent extraire leurs données après avoir terminé leurs observations sur de nombreux télescopes appuyés par le Canada. Toutefois, les observatoires ALMA et Gemini utilisent actuellement leur propre système d'entreposage. Dans le cas de certains observatoires comme le TCFH, le TJCM et d'autres télescopes internationaux, en sécurisant les données obtenues, le CCDA assure la protection de l'investissement du CNRC, lorsque l'on considère les coûts de planification, de construction et d'exploitation des télescopes supportés par le Portefeuille. Les archives du CCDA contiennent des centaines de millions de dollars en données obtenues pendant les 40 dernières années.

« Vous trouverez de plus en plus de jeunes astronomes qui veulent un accès à ces données. Cela sera important dans plusieurs années [...] J'aimerais souligner qu'il s'agit d'un élément essentiel. Nous devons nous assurer que tout le système sera là pour les générations futures. C'est ainsi que les découvertes sont faites. » [trad.]
Entrevue avec un astronome canadien

Comme le montre la Figure 2, depuis dix ans, la quantité de données envoyées aux clients s'est accrue exponentiellement. Pendant la période couverte par l'évaluation, la livraison annuelle de données livrées par le CCDA a augmenté de 79 %.

Figure 2 : Données livrées par le CCDA à ses utilisateurs de 2005 à 2015 (en millions de gigaoctets)

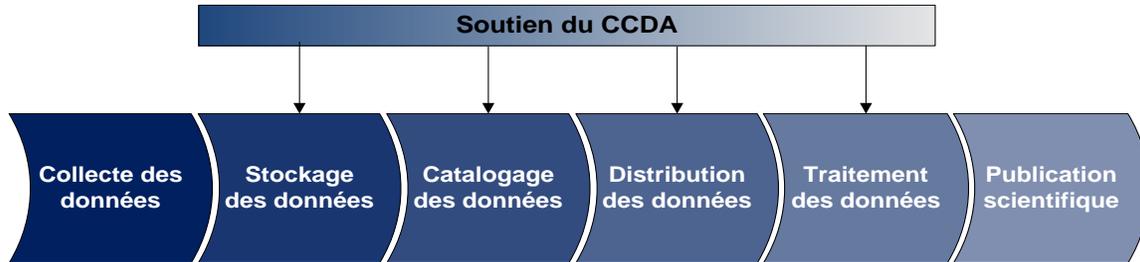


Source : Données sur le rendement du portefeuille Herzberg.

Note : Les données utilisées ne permettaient pas de distinguer entre les utilisations canadiennes et internationales du CCDA.

La Figure 3 illustre un diagramme du flot des données à la connaissance, une présentation schématisée du soutien du portefeuille Herzberg apporté à la communauté astronomique par le CCDA.

Figure 3 : Schéma du flot des données à la connaissance



- **Collecte des données** : Les observatoires obtiennent les données dans des conditions météorologiques optimales.
- **Stockage des données** : Les données brutes sont entreposées et l'intégrité des données est maintenue par le CCDA.
- **Catalogage des données** : Les données sont triées et cataloguées par le personnel du CCDA afin que les astronomes puissent facilement les interroger et accéder celles dont ils ont besoin.
- **Distribution des données** : Les données sont téléchargées par les astronomes. Étant donné le grand volume et la forte circulation des données, il est nécessaire d'avoir un réseau à grand débit pour satisfaire à la demande.
- **Traitement des données** : Les données brutes sont traitées pour obtenir des informations pertinentes pour la production de nouvelles connaissances sur l'Univers⁴. Pour certains astronomes, l'informatique de haute performance (IHP) est un composant critique du traitement des données. On devrait noter que le CCDA effectue un prétraitement de certaines données d'observation avant leur distribution pour en faire des données prêtes à être utilisées par les scientifiques. On parle dans ce cas de « produits avancés de données ».
- **Publication scientifique** : Cette dernière étape est la parution d'articles.

Les informateurs clés à l'interne et de l'externe ont souligné le besoin de « produits de données avancés », c'est-à-dire des données scientifiques prêtes à être utilisées. Le traitement de grands ensembles de données (ou mégadonnées) exige des connaissances avancées de la gestion des données, comme la création d'algorithmes novateurs qui va au-delà des aptitudes ou de l'expertise de l'astronome lambda. Par exemple, on

« Le CCDA est formidable. Il me permet de faire de la science, sans me perdre dans les complexités et les subtilités des données. Il y a d'autres façons d'obtenir les données, mais utiliser le CCDA comme intermédiaire a été extrêmement satisfaisant. » [trad.]

Informateur externe

⁴ Après environ un an, la période d'accès réservé se termine et le « produit de données de télescope » sera disponible aux autres astronomes. Cette disponibilité des données archivées augmente la valeur des observations anciennes, car elles peuvent être réutilisées pour des objectifs complètement différents.

trouve dans la communauté astronomique canadienne un grand intérêt pour les grands levés célestes qui produisent de grandes quantités de données. Il s'agit de la motivation pour les « produits de données avancés » prétraités.

Le besoin d'une infrastructure avancée de gestion des données

Les informateurs rencontrés ont indiqué que le Canada ne dispose actuellement pas de l'infrastructure nécessaire de gestion des données (c.-à-d. le réseau, et le traitement et le stockage de données) nécessaire pour gérer les données de la prochaine génération d'observatoires de classe mondiale (le SKA par exemple). Les besoins de la communauté astronomique ont dépassé les simples activités de stockage et distribution de données et exigent des réseaux à grand débit, l'informatique de haute performance et les aptitudes et les logiciels nécessaires pour le traitement et l'analyse de grands volumes de données. Les informations recueillies pendant l'évaluation pointent vers la croissance de la magnitude des données d'observation nécessaires à la réalisation de recherches scientifiques de pointe en astronomie. La complexification accrue des observatoires crée un besoin connexe d'une infrastructure complexe, comme le matériel et les services de gestion des données, les réseaux, les logiciels et les aptitudes pour distribuer de grands et complexes ensembles de données d'observation. Ce besoin a été la motivation de « CANFAR », le réseau de pointe canadien pour la recherche en astronomie, une solution de réseau de calcul fondée sur un nuage IHIP (point de conservation d'information) pour la recherche de pointe en astronomie (CASCA 2016, p. 96). Grâce à sa collaboration avec des partenaires pour le soutien de CANFAR, le portefeuille Herzberg rend possible l'accès à distance et à haute performance à des calculs au transfert et à la conservation de données de produits avancés de données.

La gestion et le financement d'installation de calcul et de réseau du Canada sont un problème complexe qui couvre des administrations locales, provinciales et fédérales et intéresse d'autres disciplines scientifiques ayant des besoins similaires de calcul et de réseautage de pointe (CASCA 2010, p. 49). Des documents du Comité de calcul numérique et de bases de données de la CASCA témoignent que « les objectifs de recherche en astronomie seront freinés sans une démarche cohérente et à long terme de financement fiable pour les calculs, les données et les réseaux » [trad.] (CASCA 2012, p. 22). Par exemple, le télescope SKA qui produira des ensembles de données de plusieurs petaoctets, voire exaocets, soit une collecte journalière de données dont le volume devrait être approximativement dix fois supérieur à la quantité de données actuellement échangées sur Internet au palier mondial produira des demandes exceptionnelles sur le plan du traitement et de l'entreposage (Organisation du SKA 2016). Cet exemple démontre le besoin continu d'une infrastructure avancée de gestion de données pour soutenir un accès permanent aux données astronomiques. D'autres informations relatives aux capacités actuelles du CCDA et des difficultés liées à l'infrastructure et à la capacité du réseau sont présentées dans la sous-section 4.2.4.

3.2 Adéquation du modèle actuel de prestation

Afin d'évaluer la pertinence du Portefeuille, l'évaluation avait consulté des informateurs clés et leur a demandé s'il existait autres modèles de prestation qui pourrait mieux servir les astronomes Canadiens.

Constat n° 6 : *Il y a des avantages associés à l'actuel modèle de prestation. On n'a pas signalé d'autres modèles de prestation de services qui seraient plus efficaces pour l'administration et l'exploitation des télescopes canadiens.*

Les informateurs clés s'entendent pour dire le modèle actuel de prestation dans le cadre duquel le Portefeuille administre et exploite des télescopes canadiens est approprié. Ils ont aussi mentionné l'excellent travail du portefeuille Herzberg pour soutenir la communauté canadienne pendant les cinq dernières années.

Ce constat va à l'encontre du PLT 2016 qui indique « que l'on devrait sérieusement considérer la possibilité qu'un tout nouvel organisme national puisse mieux servir l'astronomie au Canada » [trad.] (CASCA 2016, p. 98). Selon le Plan à long terme, ce nouvel organisme pourrait être créé pour résoudre deux difficultés cruciales mentionnées par la communauté astronomique dans le rapport (CASCA 2016, p. 99) :

- le manque de processus clairs et officiels permettant à la communauté de faire pression sur le gouvernement canadien relativement aux futures possibilités de télescope,
- l'incidence perçue de l'accent accru du CNRC pour l'innovation industrielle sur la capacité du portefeuille Herzberg de s'acquitter de son mandat.

Lorsqu'on leur a demandé si un nouveau modèle pouvait résoudre ces difficultés, les informateurs clés ont dit qu'il n'était pas d'accord avec le PLT 2016 et qu'un changement de modèle ne serait pas nécessairement une panacée pour ces problèmes. Sur le plan d'une solution de rechange, quelques informateurs clés ont indiqué qu'ACURA pourrait théoriquement jouer un rôle si le modèle de prestation devait être révisé. Toutefois, l'un d'eux a remarqué que, pour jouer dans un tel scénario, ACURA « devrait beaucoup évoluer » et qu'un financement additionnel serait nécessaire pour ses activités supplémentaires.

Si d'une part, les informateurs n'ont pas mentionné un autre modèle adéquat d'administration et d'exploitation des télescopes du Canada, d'autre part l'évaluation a révélé les avantages du modèle actuel :

- **Flexibilité financière** : Faire partie du CNRC donne au portefeuille Herzberg un accès à d'autres sources internes de financement permettant de réduire l'impact financier de la dévaluation du dollar canadien par rapport à d'autres devises.
- **Capacité de négocier et de joindre des accords internationaux** : Puisqu'il est un organisme gouvernemental fédéral, le CNRC dispose de l'autorité législative pour signer des accords internationaux avec des tiers et d'administrer le financement de subventions et de contributions.
- **Neutralité** : En tant qu'entité nationale, le portefeuille Herzberg représente les intérêts de toutes les universités canadiennes ayant des activités en astronomie, quelle que soit leur importance.

Certains informateurs clés ont remarqué qu'avoir un laboratoire fédéral dédié à l'exploitation d'installation et effectuant de la recherche en astronomie et en instrumentation est un excellent modèle. Ils ont expliqué qu'avec la hausse de la valeur des observatoires et de l'instrumentation, en durée et en complexité, la stabilité et l'expertise fondamentale d'un laboratoire fédéral sont particulièrement importantes.

3.3 Harmonisation avec les priorités du gouvernement fédéral et les objectifs stratégiques du CNRC

L'évaluation a cherché à établir dans quelle mesure les objectifs stratégiques et les activités de du portefeuille Herzberg étaient alignés sur les priorités du gouvernement fédéral, et les

objectifs stratégiques du CNRC. Il a aussi étudié les conséquences de la transformation du CNRC sur les activités de vulgarisation du Portefeuille.

3.3.1 Harmonisation avec les priorités du gouvernement fédéral

Constat n° 7 : *Les activités du Portefeuille — notamment ses investissements dans les observatoires internationaux — sont harmonisées avec les priorités du gouvernement fédéral.*

Bien que l'administration précédente n'ait pas explicitement désigné l'astronomie comme une priorité essentielle, l'annonce de l'investissement dans le projet du télescope de trente mètres dans le budget fédéral 2015 souligne l'importance de l'investissement dans des projets astronomiques. L'ancien premier ministre Stephen Harper annonçait que le Canada « est fier d'être un partenaire officiel de cet important projet pour contribuer à la science et à des découvertes scientifiques canadiennes et internationales » et que le projet « générer[ait] de nouvelles capacités et technologies au Canada, qui aider[aient] à créer ou à préserver de très bons emplois dans des communautés de partout au Canada » (Gouvernement du Canada 2015).

Si, d'une part les nouvelles stratégies n'ont pas encore été complètement formulées en une stratégie formelle, d'autre part, dans sa lettre de mandat, le premier ministre demandait à la nouvelle ministre des Sciences d'« [é]tudier des options pour renforcer la reconnaissance et le soutien de la recherche fondamentale en appui des découvertes » (Bureau du premier ministre 2015).

De plus, l'initiative du CCDA est alignée avec les priorités du gouvernement fédéral en sciences, puisque ses activités sont innovatrices dans le domaine des mégadonnées et qu'elles encouragent l'accès ouvert à la science. La *Stratégie fédérale en matière de sciences, de technologie et d'innovation* de 2014 énonce que « les pays doivent rapidement... exploiter des systèmes de données volumineux et complexes (mégadonnées) et adopter des politiques scientifiques ouvertes afin de faciliter la collaboration » (Industrie Canada 2014, p. 1).

3.3.2 Alignement avec les objectifs stratégiques du CNRC

Constat n° 8 : *Bien que la stratégie du CNRC tienne compte du mandat du portefeuille Herzberg, l'alignement entre les activités du Portefeuille et les objectifs du CNRC et de la Division des technologies émergentes n'est pas évident.*

Alignement avec les objectifs du CNRC et de la Division des technologies émergentes

La stratégie du CNRC pour 2013-2018 est centrée sur les résultats de l'innovation motivée par le marché et les avantages pour les Canada. La stratégie décrit quatre secteurs d'activité, dont un inclut l'accès à une infrastructure scientifique de classe mondiale, permettant aux clients d'utiliser efficacement certaines des grandes infrastructures scientifiques plus spécialisées du Canada. Ceci est aligné avec le mandat du portefeuille Herzberg.

Or, selon de nombreux informateurs clés à l'interne, le Portefeuille n'est pas aligné avec l'objectif stratégique global du CNRC d'« accroître la prospérité économique en offrant des programmes de développement technologique ainsi que des installations et des services nationaux spécialisés, dans le but de stimuler la recherche-développement (R-D) industrielle ». En outre, certains informateurs clés à l'interne ressentent que le mandat central du Portefeuille d'offrir un accès à une infrastructure scientifique qui produira des découvertes clés et des connaissances scientifiques n'est pas aligné avec l'objectif de la Division des technologies émergentes qui est de « comprendre et prévoir quelles seront les technologies essentielles aux

besoins industriels et sociaux futurs du Canada et acquérir la capacité de les proposer sur les marchés en émergence ».

Les éléments probants montrent que le Portefeuille soutient la R-D industrielle par l'engagement des entreprises canadiennes de mettre au point, fabriquer et installer des instruments d'observation sur des télescopes nationaux et internationaux. Sa cible principale reste cependant de servir la communauté des astronomes.

3.3.3 Répercussions de la transformation du CNRC sur les activités de vulgarisation du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique

Constat n° 9 : *Depuis les cinq dernières années, la capacité du portefeuille Herzberg de réaliser des activités de vulgarisation a été réduite à la suite de la décision de fermer le Centre de l'Univers.*

Les parties prenantes du portefeuille Herzberg considèrent que la vulgarisation et le rayonnement font partie intégrale de ses activités. La transformation du CNRC en une organisation de recherche et de technologie en 2012 l'a principalement touché en transformant le modèle de structure organisationnelle d'un institut à un portefeuille. Selon les intervenants internes, ce changement a limité sa capacité d'entreprendre des activités de vulgarisation.

De plus, lors de l'évaluation nous avons trouvé que certaines décisions prises au palier du CNRC ont grandement touché les activités de vulgarisation, notamment la décision de 2013 du CNRC de fermer le Centre de l'Univers⁵. Cette décision était justifiée par des considérations financières et l'opinion que la mission de vulgarisation du Centre n'était pas alignée avec les programmes du portefeuille Herzberg. Le Portefeuille examine d'autres modèles pour le Centre de l'Univers, il a par exemple autorisé par Permis d'occupation une organisation sans but lucratif, les Amis de l'Observatoire fédéral, d'utiliser le Centre de l'Univers à des fins de vulgarisation. Toutefois, malgré ces efforts, l'accès au Centre continue d'être limité.

Recommandation n° 2 : Le portefeuille Herzberg devrait continuer sa collaboration avec des partenaires pour accroître ses activités de vulgarisation et de rayonnement.

3.3.4 Collaborations avec d'autres portefeuilles du CNRC

Constat n° 10 : *Depuis les cinq dernières années, le portefeuille Herzberg a entretenu quelques interactions informelles et les autres portefeuilles. Puisque des occasions futures de collaboration et d'échange de connaissances pourraient se manifester, le portefeuille Herzberg et les autres portefeuilles du CNRC devraient mieux comprendre leurs capacités, activités et besoins réciproques.*

On ne compte aucune collaboration formelle entre le portefeuille Herzberg et les autres portefeuilles du CNRC de 2011 à 2015. Les données SAP sont un indicateur de collaboration formelle, car elles donnent des renseignements sur le partage de travail entre les portefeuilles (le travail mesuré en dollars échangés entre portefeuilles) pour les exercices 2013-2014 et 2015-2016, la seule période pour laquelle les données sont disponibles. Globalement, les données montrent que la valeur moyenne de travail partagé entre portefeuilles du CNRC pendant la période de trois ans était approximativement d'un million de dollars par portefeuille et

⁵ Le Centre de l'Univers était le centre d'interprétation pour le public. Situé à l'OFA, il était régulièrement ouvert au public de mai à septembre.

de zéro pour le portefeuille Herzberg. Selon les indicateurs clés à l'interne, cette dissemblance peut s'expliquer par l'intensité élevée du travail du personnel, le manque de connaissance des compétences disponibles dans les autres portefeuilles et les différences de mandat. Cela dit, des informateurs clés ont donné des indications anecdotiques d'interactions informelles avec d'autres portefeuilles du CNRC. Par exemple, un informateur clé a noté que le portefeuille Herzberg a donné des amplificateurs à faible bruit (AFB) pour appuyer la recherche du portefeuille Technologies de sécurité et de rupture.

De plus, un informateur clé a indiqué que sa participation à l'événement Tech-X du CNRC avait contribué à hausser ses connaissances de ce qui était disponible et des occasions potentielles de collaboration en photoniques. Toutefois, il ne croyait pas que la charge de travail de son équipe lui permettrait de poursuivre ces collaborations potentielles.

Recommandation n° 3 : Le portefeuille Herzberg, en collaboration avec d'autres portefeuilles du CNRC et le Soutien à la gestion des affaires (SGA) du CNRC devraient explorer les possibilités de tirer parti des compétences et des technologies utilisées en astronomie.

3.4 Harmonisation avec les rôles et responsabilités du gouvernement fédéral

L'évaluation a cherché à établir la mesure dans laquelle les objectifs stratégiques et les activités du portefeuille Herzberg étaient alignés aux rôles et responsabilités du gouvernement fédéral.

Constat n° 11 : Les activités et les résultats stratégiques du portefeuille Herzberg sont alignés avec les rôles et les responsabilités du gouvernement fédéral, énoncées dans la *Loi sur le Conseil national de recherches du Canada*.

La Loi sur le Conseil national de recherches énonce que le Conseil peut notamment « assurer le fonctionnement et la gestion des observatoires astronomiques mis sur pied ou exploités par l'État canadien » (Justice Canada 2009). Les documents étudiés dans le cadre de l'évaluation confirment le rôle d'administration des télescopes nationaux et internationaux du Canada joué par le gouvernement fédéral. Les grandes entreprises multinationales exigent généralement la signature du gouvernement fédéral et le rôle du CNRC comme signataire des accords astronomiques internationaux est bien reconnu.

« Sans un organisme similaire au portefeuille Herzberg, le Canada ne pourrait prétendre être un partenaire productif et sérieux des principaux observatoires internationaux. »
[trad.]

PLT2010 (CASCA 2010, p. 38)

4. Rendement

L'évaluation a porté sur le rendement du portefeuille sur les plans de son efficacité (section 4.1) et de son efficience de son économie (section 4.2).

4.1 Efficacité

Pour évaluer l'efficacité du portefeuille Herzberg, nous avons étudié son succès sur les plans de l'accès des astronomes canadiens aux télescopes nationaux et internationaux et aux produits de données scientifiques, sa participation aux télescopes de la prochaine génération, sa contribution à la mise au point d'instruments d'observation, les contributions de l'industrie aux projets d'instrumentation, ainsi que la productivité et les impacts scientifiques des télescopes canadiens outre-mer.

4.1.1 Accès des astronomes canadiens aux télescopes nationaux et internationaux

Temps d'observation attribués aux astronomes canadiens

Constat n° 12 : *La participation du portefeuille Herzberg aux observatoires outre-mer sous la forme d'un soutien financier et sa contribution à la mise au point d'instruments et des infrastructures est cruciale pour assurer que les astronomes canadiens aient un accès aux télescopes internationaux pour réaliser leurs recherches.*

Constat n° 13 : *Le temps d'observation attribué aux astronomes canadiens au télescope ALMA ne correspond pas à la contribution financière du Canada à l'exploitation de l'observatoire.*

TCFH, Gemini et TJCM

Le soutien financier à l'exploitation des observatoires garantit au Canada une proportion du temps total disponible aux télescopes de chaque installation. Actuellement, le Canada disposait de 42,5 % du temps d'observation disponible au TCFH et de 17,8 % du temps d'observation disponible sur les télescopes Gemini (TCFH, s.d.; observatoire Gemini 2014). Avant de se retirer du partenariat du TJCM en 2014, la portion canadienne du temps d'observation du TJCM était de 25 % (CASCA 2014a). Les représentants du Portefeuille ont confirmé que le temps d'observation au TCFH, au TJCM et aux télescopes Gemini attribué aux astronomes canadiens pendant la période couverte par l'évaluation était conforme à la fraction de temps réservé pour le Canada à ces observatoires.

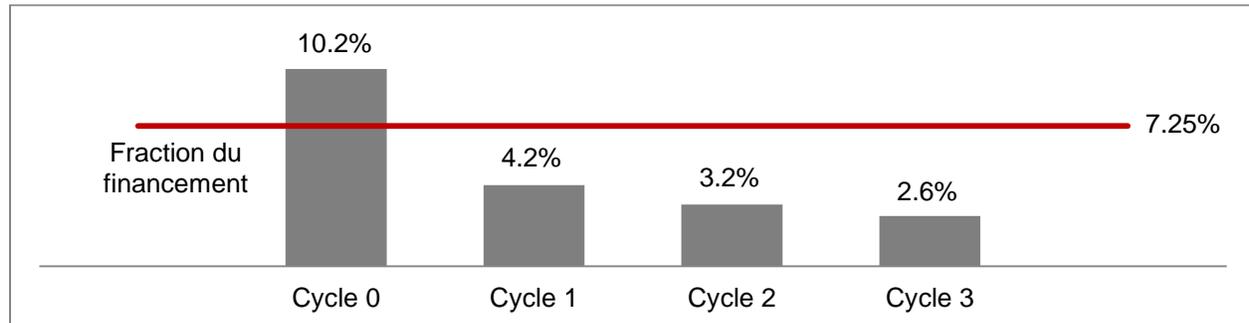
L'observatoire ALMA

L'ALMA est un partenariat entre l'Europe, l'Amérique du Nord et l'Extrême-Orient, en collaboration avec la République du Chili. La portion nord-américaine du partenariat qui inclut le portefeuille Herzberg du CNRC, le NRAO et le Conseil national des sciences de Taïwan contribuent à ALMA un financement annuel d'environ 37,5 % des fonds totaux versés par tous les partenaires. La somme annuellement versée par le Canada correspond à environ 7,25 % de la portion nord-américaine du financement. L'attribution de temps au Canada donne aux astronomes canadiens un accès à la portion nord-américaine du temps de l'ALMA. Contrairement aux accords pour les télescopes CFH et Gemini, aucune portion du temps n'est explicitement réservée aux astronomes canadiens.

Comme nous le mentionnions à la sous-section 3.1.3, le rapport entre le temps demandé et le temps disponible (rapport demande/offre) est élevé : environ 5,27 en moyenne pendant les cycles 0 à 3, c'est-à-dire de 2011 à 2015. Pendant cette période, les chercheurs principaux

canadiens ont reçu un total de 66,2 heures d'observation à l'installation, ce qui correspond à environ 4 % du temps total qui fut attribué aux chercheurs nord-américains. Or, les données indiquent que la proportion attribuée aux chercheurs principaux canadiens ne correspond pas au soutien financier annuel du Canada à l'observatoire ALMA. Les données sont présentées à la Figure 4.

Figure 4 : Attribution de temps aux chercheurs principaux canadiens en pourcentage des heures attribuées aux Nord-Américains par cycle



Source : Données sur le rendement du portefeuille Herzberg.

Il faut noter que le temps d'observation sur ALMA est attribué aux chercheurs principaux sur la base du mérite par un processus d'examen par les pairs auxquels des Canadiens participent comme examinateurs de propositions. Il convient aussi de noter que les astronomes canadiens ont réussi à obtenir du temps par d'autres moyens, surtout en tant que collaborateurs ou cochercheurs dans d'autres équipes de recherche, y compris de l'extérieur de l'Amérique du Nord. Les cochercheurs canadiens ont globalement reçu 581 heures de temps d'observation entre 2011 et 2015, ce qui correspond à 11,3 % de tout le temps attribué aux observations avec l'ALMA pendant cette période. En outre, les astronomes canadiens ont été coauteurs de treize des trente articles les plus cités portant sur des observations avec l'ALMA.

D'une part, le temps attribué aux chercheurs principaux canadiens a diminué pendant la période d'évaluation, d'autre part, la direction du Portefeuille a indiqué que l'ALMA était un nouveau télescope (exploité depuis 2011) et que l'on pouvait s'attendre à ce que l'attribution de temps aux chercheurs principaux canadiens s'améliore avec le temps. Cela dit, puisqu'aucune fraction du temps n'est exclusivement réservée aux astronomes canadiens (proportionnelle au soutien financier du Canada à l'ALMA), on devrait prendre du temps pour découvrir s'il existerait éventuellement des barrières limitant l'accès des chercheurs principaux canadiens à l'observatoire et quelles seraient les solutions potentielles permettant d'en améliorer l'accès.

Recommandation n° 4 : Le portefeuille Herzberg devrait découvrir les raisons pour lesquelles le temps d'observation attribué aux chercheurs principaux du Canada n'est pas proportionnel à son soutien financier au fonctionnement d'ALMA et, au besoin, prendre les mesures adéquates que l'on aura discernées.

Participation et contribution du portefeuille Herzberg aux télescopes de prochaine génération

Constat n° 14 : La participation du portefeuille Herzberg aux phases d'avant construction et de construction des télescopes de prochaine génération est importante pour garantir aux Canadiens un accès à ces observatoires.

L'ampleur de l'accès aux installations d'un observatoire par les chercheurs d'un pays dépend des contributions financières et en nature de celui-ci aux dites installations. Le portefeuille Herzberg et la communauté astronomique canadienne participent de façon importante à deux nouveaux observatoires : le TMT et le SKA. Une description courte de la participation et des contributions canadiennes à ces deux observatoires suit :

Télescope de trente mètres

Le projet du télescope de trente mètres (TMT) a commencé en 2003 sous la forme d'une collaboration entre l'ACURA, le California Institute of Technology (Caltech), et la University of California (UC). Les partenaires fédéraux et provinciaux, dont le CNRC, ont fourni environ 31 millions de dollars en soutien aux phases de conception et de préconstruction du projet. Ces activités de préconstruction ont été gérées par ACURA en consultation avec le portefeuille Herzberg. En avril 2015, le gouvernement du Canada annonçait l'attribution de 243,2 millions de dollars pendant neuf ans au CNRC pour la construction et la mise en service du TMT, en conséquence, le CNRC assume la responsabilité de la participation du Canada à l'observatoire. De plus, des représentants de la communauté astronomique canadienne et du Portefeuille sont membres du Conseil des gouverneurs du TMT et du Comité consultatif scientifique.

La participation du Canada se traduit par deux contributions importantes à la construction du TMT :

- **Le dôme du TMT** : Dynamic Structures Ltd., de Port Coquitlam (Colombie-Britannique) est responsable de la conception et de la construction de l'enceinte de l'observatoire. Ce dôme sera sphérique et présentera une ouverture circulaire correspondant au champ de vision du télescope, et sera essentiel à la préservation de la qualité de l'image du TMT. Cette forme réduira la masse de l'installation, ce qui se traduira par des coûts moins élevés (CASCA 2014c, p. 14).
- **Système d'optique adaptative infrarouge en champ étroit (NFIRAOS)** : le portefeuille Herzberg, en collaboration avec l'industrie, met au point un système d'optique adaptative pour le TMT. Ce système fait partie intégrale de l'observatoire du TMT : il corrige les dégradations de la qualité de l'image qui découle de l'observation d'objets à travers l'atmosphère terrestre et d'imperfections aérothermiques et optiques dans l'observatoire lui-même pour produire des images fines et stables (CASCA 2014c, p. 7). En outre, le NFIRAOS aidera au fonctionnement d'autres instruments du TMT et assurera qu'ils atteignent leur rendement nominal (CASCA 2014c, p. 9).

La documentation fournie par le Portefeuille indique que l'on prévoit construire à Victoria une installation d'intégration et d'essais en soutien aux projets d'instrumentation du TMT. Ces contributions donneront aux astronomes canadiens un accès au télescope et permettront au Canada de jouer un rôle important dans la définition de l'exploitation et des capacités à venir du TMT (CASCA 2014c, p. 14).

La construction du TMT a été entreprise en octobre 2014 sur le Mauna Kea à Hawaï, mais le travail sur le site a été interrompu en décembre 2015.⁶

⁶ Le site Web de l'Organisation du TMT donne plus de renseignements sur l'avancement du projet TMT : <http://www.tmt.org/>

SKA

Le Canada, représenté par le CNRC, s'est officiellement joint à l'organisation du SKA (« SKA Organization ») tôt en 2012 et s'est engagé à livrer du travail en nature pendant la phase de préconstruction du SKA qui a été entamée en 2013. Le Comité consultatif de l'ACURA sur le SKA qui réunit des représentants des universités et de l'industrie est responsable de la supervision de la participation canadienne au télescope SKA.

Les projets qui suivent constituent la contribution du Portefeuille à la part du Canada au travail de conception du SKA (CASCA 2014b, p. 3–4) :

- **Traitement numérique des signaux** : Le portefeuille dirige le consortium du Traitement central des signaux qui conçoit les corrélateurs et les conformateurs de faisceau, ainsi que les processeurs non imageants pour la recherche de pulsars et la synchronisation.
- **Cornets de réseau phasé** : Le portefeuille travaille à la démonstration sur des paraboles des cornets d'alimentation pour réseau phasé, avec un accent sur les cornets cryogéniquement refroidis.
- **Amplificateurs à bas bruit et numériseurs RF** : Le portefeuille a mis au point des amplificateurs cryogéniques à bas bruit qui seront intégrés aux récepteurs EMSS pour la bande L et la bande UHF (ultra-haute fréquence) du radiotélescope MeerKAT. En outre, en tant que participant au consortium sur les paraboles, le Portefeuille est responsable des numériseurs des cornets d'alimentation à pixel unique.
- **Gestion du télescope** : Le portefeuille participe à la conception des systèmes de suivi et de commande du SKA1, ainsi que des interfaces de gestion du télescope SKA.

En outre, la communauté astronomique canadienne et le portefeuille sont représentés au Conseil des directeurs, au Comité consultatif en science et génie et au Groupe d'examen de la recherche du SKA, ainsi qu'à onze des treize groupes de travail sur la science.

4.1.2 Accès des astronomes canadiens aux produits de données scientifiques

Constat n° 15 : *Le portefeuille Herzberg a réussi à donner aux astronomes un accès aux données scientifiques grâce au CCDA. De plus, la gestion des données par le CCDA a contribué à l'accroissement de la productivité en recherche (publication d'article) des télescopes outre-mer du Canada.*

Services de gestion de données par le CCDA

Le portefeuille utilise le « nombre de reconnaissances (ou remerciements) au CCDA dans les publications avec comité de lecture » comme mesure indirecte de sa contribution à l'impact scientifique en astronomie. Le nombre annuel de « reconnaissances » s'est accru de 55 % pendant les cinq dernières années, passant de 120 en 2011 à 186 en 2015. La hausse de la quantité de données fournies aux utilisateurs (montrée à la Figure 2 de la sous-section 3.1.4) et du nombre total de reconnaissances du CCDA dans les publications astronomiques montre que celui-ci réussit à donner aux astronomes un accès aux données scientifiques et aux produits de données avancés.

Lors de l'évaluation, nous avons découvert différents impacts scientifiques notables de l'utilisation des archives du CCDA, notamment :

- **Recherche d'archives des données du TCFH** : Entre 2013 et 2015, un tiers des articles scientifiques produits liés au TCFH utilisaient des données archivistiques de ce télescope (TCFH 2016c). Ces publications montrent que bien que TCFH soit un télescope de classe de quatre mètres existant dans un univers de télescope de huit à dix mètres, il demeure scientifiquement compétitif sur le plan du nombre de publications (montré à la Figure 5 de la sous-section 4.1.3).
- **Découverte d'une dégradation instrumentale au TCFH** : En fin 2015, un membre du personnel du CCDA a utilisé des données archivées pour découvrir une baisse notable de la quantité de lumière collectée par un instrument crucial, ce qui a conduit à la découverte précoce et la réparation subséquente d'un composant en dégradation de l'instrument le plus populaire du télescope (TCFH 2016a; CCDA 2016b).
- **Sonde spatiale New Horizons** : Lancée tôt en 2006 par la NASA, la sonde a visité la planète naine Pluton en juillet 2015. Les données archivées du CCDA qui ont alimenté le processus de navigation de la NASA ont aidé à guider la sonde sur une approche sans danger de collision pendant sa rencontre avec l'astre (TCFH 2015; CCDA 2016a).

Mise au point de produits de données avancés

L'évaluation a souligné différentes contributions du portefeuille Herzberg à la création de produits de données avancés. Des informateurs clés ont décrit la fourniture par le CCDA de produits de données avancés :

- Les données fournies par le CCDA sont prêtes à être utilisées, ce qui les rend plus utiles pour les chercheurs.
- Le CCDA est l'un des quelques centres d'archives de données astronomiques qui distribuent des données semi-traitées, en colonnes qu'il décrit comme étant une « mine prête pour l'extraction ».
- Les grands levés comme le grand sondage cosmique du Télescope Canada-France-Hawaii sont fortement dépendants des services de gestion de données fournies par le CCDA pour le traitement des données.
- Les capacités de recherche et d'imagerie sont utiles, car elles permettent aux astronomes de juger si la qualité des données sous-jacentes est suffisante pour répondre à une question scientifique donnée.

La solution infortunée de calcul CANFAR a une évolution cruciale de la façon dont le CCDA sert la communauté astronomique canadienne. Depuis 2011, plus de cinq cents publications ont mentionné le soutien de CANFAR (CASCA 2016, p. 96). L'évaluation a permis de découvrir différents résultats notables de la collaboration du portefeuille Herzberg dans CANFAR, notamment :

- L'Étude de prochaine génération sur l'amas de la Vierge de prochaine génération a collecté à l'aide du TCFH un vaste ensemble de données pendant six ans. Le CCDA en utilisant le CANFAR a soutenu l'équipe de l'Étude en lui permettant d'archiver et de traiter son immense ensemble de données (Université de Victoria 2012).
- En 2014, l'analyse de données du CCDA par CANFAR a mené à la découverte d'un objet de la ceinture de Kuiper d'un diamètre d'environ 30 km atteignable par la sonde spatiale

New Horizons de la NASA. La NASA pourrait visiter cet objet en janvier 2019 (CANARIE 2014).

Obstacles contrecarrant la capacité du portefeuille Herzberg d'offrir l'accès aux produits de données scientifiques

L'évaluation a trouvé deux grands obstacles qui nuisent à la capacité du portefeuille Herzberg d'offrir à la communauté scientifique l'accès aux produits de données scientifiques :

- L'infrastructure informatique désuète, notamment les serveurs et le matériel d'entreposage de données du CCDA
- les capacités limitées du réseau disponible au CCDA (qui devrait être amélioré pour passer de un gigaoctet par seconde à dix gigaoctets par seconde).

La sous-section 4.2.4 présente des informations supplémentaires relatives à ces difficultés.

4.1.3 Productivité et impacts des observatoires

Constat n° 16 : *Au palier international, le rendement des observatoires canadiens outre-mer sur les plans de la productivité et de l'impact (la pertinence des publications de l'observatoire).*

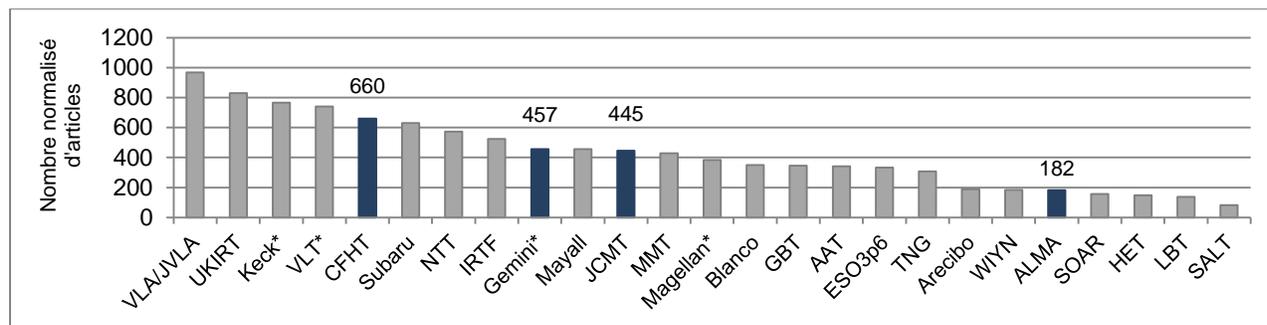
Pour estimer le rendement sur les plans de la production de publications et de leur impact, le comité d'évaluation a consulté différentes données bibliométriques fournies par le portefeuille Herzberg. Les résultats de l'évaluation sont présentés plus bas.

Productivité – nombre d'articles publiés par année

Le nombre d'articles publié annuellement par télescope constitue une mesure de sa contribution à la production de nouvelles connaissances et le rendement du capital investi dans la construction des télescopes et de leurs instruments (Crabtree 2008). Afin d'obtenir une évaluation précise du rendement d'un observatoire, sa productivité est étudiée de concert avec l'impact de l'observatoire qui est mesuré par le nombre de citations des articles publiés à la suite de son utilisation. L'impact des observatoires est discuté en plus de détails dans la section suivante.

La Figure 5 montre la productivité mesurée en nombre annuel d'articles publiés issus des travaux à l'un des observatoires canadiens outre-mer et de 21 autres télescopes internationaux de 2010 à 2014. Pendant cette période, deux des observatoires canadiens se sont placés parmi les dix premiers sur le plan de la productivité, soient le TCFH au cinquième rang et Gemini au neuvième. Notons que l'ALMA occupe la 21^e place du classement global, mais que sa productivité s'est graduellement accrue d'année en année depuis le début de son exploitation en 2011. On prévoit qu'elle continuera à s'élever à mesure qu'augmenteront les travaux scientifiques de l'observatoire.

Figure 5 : Nombre normalisé d'articles publiés à partir de données des observatoires canadiens outre-mer et d'autres observatoires terrestres internationaux de 2010 à 2014



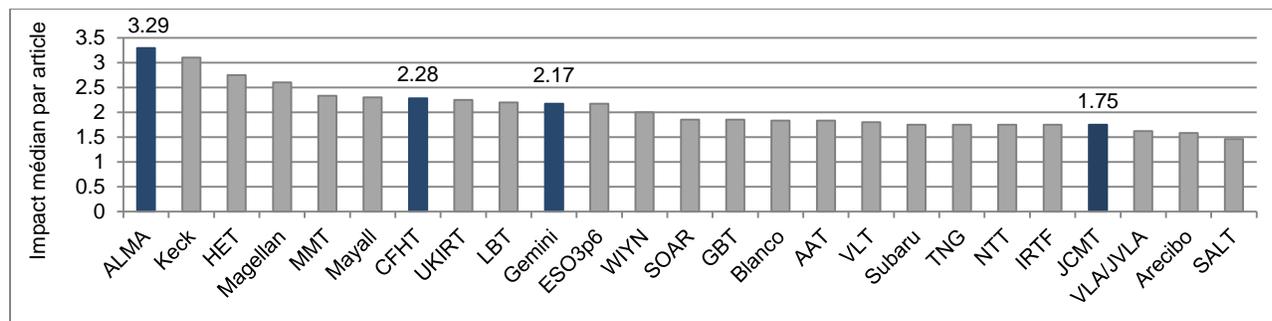
Source : Données sur le rendement du portefeuille Herzberg.

*Certains observatoires comportent plus d'un télescope. Pour normaliser les résultats, nous avons divisé le nombre d'articles issus de données collectées par chaque observatoire par le nombre de télescopes. Par exemple, le VLT comporte quatre télescopes alors que les observatoires Gemini, Magellan et Keck en comportent deux.

Impact – nombre de citations

Le nombre de citations (le nombre de fois qu'un article est cité dans les écrits) est utilisé comme mesure de l'impact d'un observatoire sur le plan de la pertinence des articles qu'il produit (Crabtree et Zhang, s.d.). La Figure 6 montre le nombre médian⁷ de citations par article produit à partir des observatoires canadiens outre-mer et de 21 autres télescopes internationaux. Les données indiquent globalement que trois des observatoires du Canada se situent parmi les dix premiers sur le plan de l'impact médian par article, le télescope ALMA étant le premier, suivi du TCFH au septième rang et de Gemini au dixième.

Figure 6 : Impact médian par article issu de données collectées par les télescopes canadiens outre-mer et d'autres observatoires internationaux de 2010 à 2014



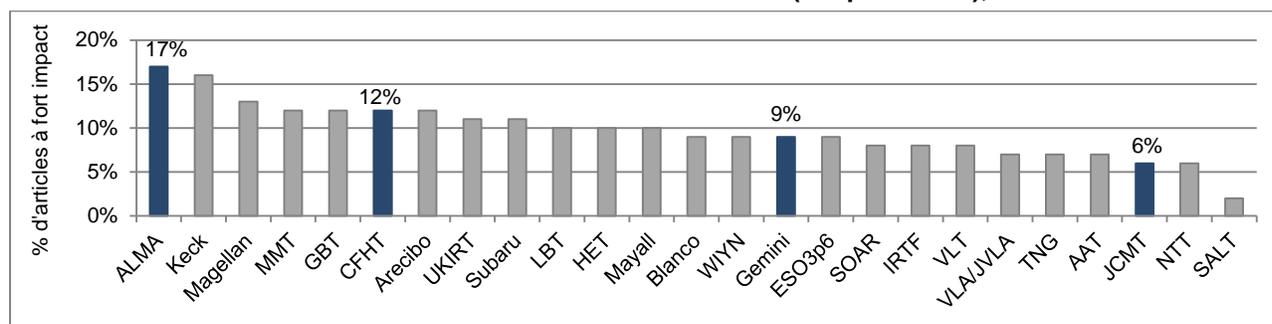
Source : Données sur le rendement du portefeuille Herzberg.

Une autre mesure de pertinence est le nombre « d'articles à fort impact » produites à partir de données collectées par un observatoire (c.-à-d., les articles du 90^e percentile pour le nombre de citations ou dans les 10 % articles les plus cités). La Figure 7 montre le pourcentage d'articles ayant une forte incidence, tirés de données obtenues par les télescopes canadiens outre-mer et d'autres observatoires internationaux. En gros, deux des observatoires canadiens se situent parmi les dix premiers observatoires, notamment l'ALMA au premier rang et le TCFH au sixième.

⁷

Pour évaluer l'impact d'un observatoire, l'analyse est fondée sur l'impact médian plutôt que l'impact moyen par article puisque cette dernière statistique peut être faussée par un nombre petit d'articles de fort impact. Notez que ces données n'ont pas été normalisées.

Figure 7 : Pourcentage d'articles de fort impact tirés de données obtenues aux télescopes canadiens outre-mer et d'autres observatoires internationaux (90^e percentile), de 2010 à 2014



Source : Données sur le rendement du portefeuille Herzberg.

4.1.4 Exemples des impacts scientifiques et de découvertes importantes

Constat n° 17 : L'utilisation des observatoires canadiens outre-mer a produit un grand nombre de découvertes importantes pendant les cinq dernières années.

Les renseignements indiquent que l'utilisation des observatoires outre-mer du Canada a produit des découvertes importantes pendant les cinq dernières années. Les données collectées dans la documentation du programme et lors des rencontres avec les informateurs contiennent un grand nombre d'exemples des répercussions scientifiques de l'utilisation des télescopes internationaux du Canada. Le Tableau 5 montre des exemples de découvertes importantes.

Tableau 5 : Exemples de découvertes issues de l'utilisation des observatoires canadiens outre-mer

Découverte	Description
ALMA	
Image d'un disque protoplanétaire autour d'HL du Taureau	En 2014, des astronomes ont obtenu ce qu'ils considèrent être le meilleur cliché jamais pris de la formation de planètes autour d'une jeune étoile. L'image révèle un disque protoplanétaire autour d'HL du Taureau formé de plusieurs anneaux concentriques séparés par des interstices clairement définis. Ces observations ont produit des renseignements précieux sur le processus de formation de planètes (ESO 2014; NRAO 2014).
TCFH	
Découverte de la planète naine 2015 RR245	En février 2016, une équipe internationale d'astronomes menée par un chercheur du portefeuille Herzberg ont découvert, dans la ceinture de Kuiper, une planète naine dont le diamètre est d'environ 700 km. La planète naine 2015 RR245 est l'un des mondes les plus gros jamais découverts au-delà de Neptune. Grâce à cette découverte du projet d'Étude des origines des régions extérieures du Système solaire qui utilise la caméra MegaPrime/MegaCam du TCFH, les astronomes ont une meilleure compréhension de l'histoire du système solaire (TCFH 2016b).

Découverte	Description
Relevé archéogalactique pan-Andromède (Pandas)	<p>Le Relevé archéogalactique pan-Andromède (PAndAS) mené par un chercheur du portefeuille Herzberg et réalisé au TCFH a produit l'image panoramique la plus grande et la plus profonde jamais obtenue d'une galaxie similaire à la Voie lactée. Ce projet a permis de découvrir un grand nombre de nouvelles structures :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Environ 20 nouvelles galaxies satellites qui semblent former un énorme anneau qui semble tourner uniformément autour de la galaxie d'Andromède. Ce comportement coordonné était totalement inattendu et n'a pas encore été expliqué. Il implique une incompréhension fondamentale de la façon dont les galaxies se sont formées. • Environ cent nouveaux amas globulaires, certains formés de millions d'étoiles. (Les résultats du relevé ont accru de 25 % le nombre d'amas connus.) • Plusieurs nouveaux « courants stellaires » (les restes de petites galaxies qui depuis ont été effilochées par la galaxie d'Andromède). Les chercheurs suspectaient l'existence de ce phénomène, mais ne comprenaient pas comment il se réalisait. Les résultats du levé se sont révélés utiles pour en comprendre l'importance.
Gemini	
Découverte de trous noirs supermassifs au centre des galaxies NGC 3842 et NGC 4889	En 2011, des observations à l'aide du télescope Gemini nord ont démontré l'existence dans les galaxies NGC 3842 et NGC 4889, des trous noirs les plus massifs jamais mesurés dans notre voisinage cosmologique. Ces deux trous noirs sont environ dix milliards de fois plus lourds que le Soleil. Plus de recherches devraient fournir des renseignements sur la formation de trous noirs et des galaxies au cours de l'histoire de l'Univers (Gemini Observatory 2011; NSF 2011).

Le lecteur trouvera des listes de découvertes plus exhaustives dans les sites Web : pour ALMA <http://www.almaobservatory.org/en/press-room/press-releases>, pour le TCFH, <http://www.cfht.hawaii.edu/en/news/>, et pour les télescopes Gemini, <http://www.gemini.edu/science/publications/index.html>

4.1.5 Contribution à la création d'instruments et de technologies novateurs

Constat n° 18 : *Le télescope Herzberg a participé et a contribué de façon importante à la conception et à la création d'instruments et de technologie de classe mondiale pour les observatoires du Canada et d'autres observatoires autour du monde. De plus, l'utilisation de ces instruments a produit un grand nombre de répercussions scientifiques et de découvertes.*

Depuis les cinq dernières années, le personnel du Programme de technologie astronomique a construit ou contribué à la construction à un total de onze projets d'instrumentation pour sept observatoires. Dans le cadre des études de cas, nous avons étudié trois des instruments créés par le portefeuille Herzberg depuis 2011 :

- **Récepteurs cryogéniques pour la bande 3 du télescope ALMA :** Le portefeuille Herzberg a collaboré avec l'industrie canadienne pour mettre au point et fabriquer une série de récepteurs hétérodynes cryogéniques à très faible bruit pour la bande entre 84 et 116 GHz. Les récepteurs jouent un rôle dans la mise en service du réseau et correspondent à la bande la plus utilisée pour des observations scientifiques. Le portefeuille Herzberg est responsable de l'entretien continu des récepteurs.

Les membres du personnel du portefeuille Herzberg « sont des leaders reconnus au palier international pour élaborer des concepts d'instruments innovateurs et d'avant-garde et pour fabriquer des appareils très fiables à temps et dans les limites budgétaires ». De plus, les instruments que le portefeuille Herzberg conçoit et fabrique « sont à une échelle qui déborde le cadre des capacités des laboratoires universitaires ».

PLT2010 (CASCA 2010, p. 38–39)

- **L'imageur planétaire Gemini (GPI) :** Le GPI est une caméra installée sur le télescope Gemini sud. Il permet d'obtenir des images de fort contraste à de petites séparations angulaires, ce qui permet l'imagerie directe et la spectroscopie en champ intégral de planètes extrasolaires autour d'étoiles proches. On considère que cet instrument est le plus perfectionné de son genre pour l'imagerie et l'analyse des planètes autour d'autres étoiles. Le personnel du portefeuille Herzberg a fourni la structure optico-mécanique, le logiciel de commande mécanique et l'ingénierie de système de l'instrument.
- **Corrélateur à architecture numérique pour l'interférométrie à large bande (WIDAR) :** Le personnel du Portefeuille est responsable du développement de WIDAR, le corrélateur de signaux dont le rôle est de combiner les signaux de chacune des 27 antennes du Très Grand Réseau Jansky. Le corrélateur est l'une des machines les plus puissantes de son genre sur la planète. Il peut, par exemple effectuer 10^{16} calculs par seconde (10 pétaflops) et a la capacité de traiter simultanément l'équivalent de 50 millions d'appels téléphoniques environ.

Les conclusions de ces études de cas indiquent que ces instruments ont grandement amélioré les capacités des observatoires où ils ont été installés et ont contribué de façon importante à plusieurs découvertes depuis 2011.

Certains informateurs clés ont déclaré que le portefeuille Herzberg était un chef de file pour la conception et la construction d'instruments pour les observatoires, notamment les systèmes d'optique adaptative, les systèmes numériques et les capteurs pour le guidage fin. Certains informateurs clés ont caractérisé le Portefeuille comme étant un chef de file mondial de la conception et la construction d'instruments d'observation, en particulier, les systèmes d'optique adaptative, la conception de systèmes numériques et de capteurs pour le guidage fin. Par exemple, la conception et la construction du corrélateur WIDAR par le portefeuille Herzberg pour le radiotélescope Jansky ont établi sa réputation en conception et la livraison de systèmes numériques et lui a apporté de l'expérience qui a soutenu la participation du Portefeuille dans le consortium du Traitement central des signaux du SKA. (CASCA 2014b, p. 3).

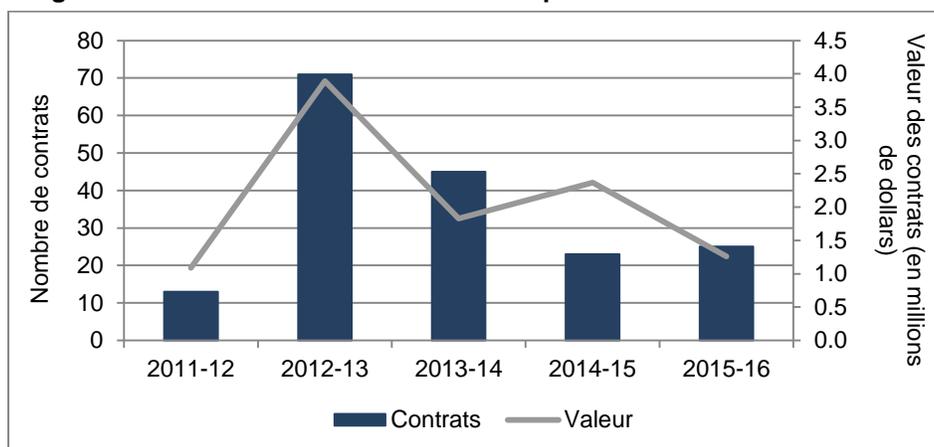
4.1.6 Collaborations avec l'industrie et impacts

Constat n° 19 : *La participation du portefeuille Herzberg aux observatoires internationaux a permis à des entreprises canadiennes de contribuer à la mise au point d'instruments pour les télescopes. Celles-ci ont bénéficié de revenus financiers et d'un accroissement de leur expertise et de leurs capacités technologiques.*

Le Portefeuille fait participer l'industrie principalement par des appels d'offres. Ainsi, l'évaluation de sa contribution à la R-D industrielle diffère de celles des autres portefeuilles puisque le revenu n'est pas l'indicateur le plus approprié de l'engagement du Portefeuille avec l'industrie et ses impacts.

La participation du Canada aux accords internationaux de télescope présente aux entreprises canadiennes l'occasion de soumissionner lors d'appels d'offres émis par les observatoires ou par le portefeuille Herzberg. Entre les exercices 2011-2012 et 2015-2016, le Portefeuille a conclu 177 contrats d'une valeur de 10,4 millions de dollars environ avec 104 institutions et entreprises, pour la fourniture de services en soutien à divers projets de recherche ou d'instrumentation. Le nombre de contrats a culminé pendant l'exercice 2012-2013, surtout en conséquence de l'ajout de 36 contrats pour des projets liés au SKA, notamment les projets DVA1 et CSP évalués à 1,6 million de dollars. La Figure 8 illustre les données relatives aux contrats.

Figure 8 : Nombre et valeur des contrats par exercice



Source : Données administratives du portefeuille Herzberg.

Entre l'exercice 2011-2012 et l'exercice 2015-2016 presque tous les contrats (88 %), évalués à 9,04 millions de dollars ont été conclus à des entreprises du secteur privé. Les universités ont aussi tiré parti de ces contrats avec le portefeuille Herzberg en décrochant 22 contrats évalués à environ 1,4 million de dollars.

Outre les avantages financiers discutés plus haut, les témoignages des informateurs clés et des études de cas montrent le travail du portefeuille Herzberg avec les entreprises a renforcé leur capacité de recherche industrielle et leur a donné un accès à du matériel et de la formation spécialisés. Le Tableau 6 présente des exemples d'entreprises et d'organisations qui ont profité de leur participation à des projets de télescopes. Lors d'entrevues, les intervenants industriels ont indiqué qu'ils n'auraient pas décroché les contrats de projets d'instrumentation sans la participation directe du portefeuille Herzberg aux observatoires. Ils ont noté qu'il est difficile de conclure des contrats en instrumentation et infrastructure pour l'astronomie hors du Canada puisque les gouvernements et les organisations astronomiques d'autres pays ont tendance à accorder des contrats avec leurs entreprises nationales.

Tableau 6 : Exemples d'entreprises canadiennes participant à des projets d'instrumentation astronomique

Nom de l'entreprise	Description des contributions et des impacts
Nanowave Technologies Inc., Etobicoke (Ontario)	Nanowave Technologies a réussi à produire des composants hautement adaptés pour les récepteurs dans la bande 3 du télescope ALMA (brièvement décrits dans la sous-section 0). Des représentants de Nanowave ont indiqué qu'à la suite de la participation de l'entreprise à la construction des récepteurs pour la bande 3 de l'ALMA, celle-ci avait acquis de nouvelles capacités, aptitudes et compétences spécialisées relatives à la mise au point d'amplificateurs à faible bruit à refroidissement cryogénique et soudure de précision de fils. Le CNRC a accordé à Nanowave une licence pour sa technologie des amplificateurs à faible bruit qui permet à l'entreprise de les fabriquer. Nanowave collabore actuellement avec le Portefeuille sur la mise au point d'amplificateurs à faible bruit pour le radiotélescope MeerKAT.
FiberTech Optica Inc., Kitchener	En collaboration avec le portefeuille Herzberg, FiberTech Optica Inc., a construit les fibres de l'accès à distance (« GRACES ») du télescope Gemini au spectrographe ESPaSO du

Nom de l'entreprise	Description des contributions et des impacts
(Ontario)	TCFH. Grâce à sa participation au projet, l'entreprise a acquis le savoir-faire lié à la conception et la création de câbles de fibres optiques. L'entreprise produit actuellement des câbles similaires pour l'Observatoire astronomique national du Japon et des universités américaines, notamment Yale et le MIT.
Dynamic Structures Ltd. (DSL), Port Coquitlam (Colombie-Britannique)	DSL a conçu et construit les enceintes de nombreux télescopes autour de la planète, dont celles des Gemini et du TCFH. L'entreprise a ensuite pu transformer son expertise et son expérience de construction de dômes pour devenir un chef de file mondial dans la conception et la fabrication de manèges dans des parcs d'attractions. En 2015, le gouvernement fédéral a choisi DSL pour concevoir, construire et livrer l'enceinte d'acier de précision pour le TMT et recevoir un investissement allant jusqu'à 70 millions de dollars à cette fin. (Empire 2015 s.d, ISEDC 2015)
Institut national d'optique (INO), Québec (Québec)	<p>À la suite de sa collaboration avec le portefeuille Herzberg, l'INO a :</p> <ul style="list-style-type: none"> • contribué à concevoir, construire et éprouver l'optique de l'imageur planétaire Gemini (Université de Montréal 2015) • construit le dispositif d'étalonnage de l'optique adaptative multiobjet RAVEN • décroché quatre contrats de services d'ingénierie et de conception de différents sous-systèmes du Système d'optique adaptative à champ étroit dans l'infrarouge (NFIRAOS), dont le paraboloïde hors axe, le séparateur de faisceau, le miroir sélectionneur d'instrument et le générateur de turbulence (TPSGC 2014a, 2014b, 2015a, 2015b) <p>Selon un représentant de l'INO, le portefeuille Herzberg a offert un stage d'un an à l'un des scientifiques de l'INO qui lui a permis d'acquérir de l'expérience dans la conception d'optique adaptative et les essais d'instruments fonctionnant à basse température.</p>

Répercussions économiques projetées de la participation du Canada au TMT et au SKA

En 2014, le CNRC a engagé Doyletech Corporation pour une étude analysant la valeur commerciale et les applications commerciales potentielles des technologies liées à l'astronomie actuellement en développement au portefeuille Herzberg pour les projets du TMT et du SKA. Cette étude concluait que les technologies actuellement mises au point pour le TMT et le SKA pourraient être utilisées dans de nombreux domaines. Par exemple :

- La technologie d'optique adaptative pourrait être utilisée pour améliorer les produits et les services dans les domaines du sonar et du radar, imagerie biomédicale (par ex., l'IRM et la microscopie), l'ophtalmologie et les appareils photo des téléphones (Doyletech 2014, p. 5). En 2014, le marché de la technologie d'optique adaptative était d'environ 325 milliards de dollars américains et on prévoit qu'il sera de 470 milliards en 2019. L'adaptation des technologies issues du projet TMT à divers marchés pourraient se traduire pour des entreprises de ces domaines par des ventes doublées de 4,2 milliards de dollars américains en 2014 à 8,8 milliards en 2019 (Doyletech 2014, p. 1).
- Les technologies actuellement mises au point pour le SKA, telles que les amplificateurs, le traitement numérique des signaux, les cornets de réseau phasé et les antennes paraboliques peuvent être utilisées par les secteurs des télécommunications, des radars de l'imagerie biomédicale et de l'aérospatiale (Doyletech 2014, p. 6). En 2014, les

technologies du SKA étaient exploitables par un marché de 100 milliards de dollars américains qui devrait s'accroître à 137,6 milliards en 2019 (Doyletech 2014, p. 1). Ces technologies pourraient permettre aux entreprises d'accroître leurs ventes de 9,3 milliards de dollars américains environ en 2014 à 14,9 milliards en 2019 (Doyletech 2014, p. 1–2).

4.1.7 Soutien aux universités

Constat n° 20 : *Le portefeuille Herzberg a contribué à la formation des étudiants et des chercheurs postdoctoraux au Canada.*

Dans le cadre d'emplois temporaires au CNRC, le portefeuille Herzberg a contribué en moyenne à la formation de vingt-deux étudiants (réguliers et coop) et huit associés de recherches annuellement. Les informateurs clés à l'interne et les données indiquent qu'il s'agit d'une partie importante de la stratégie de gestion des talents du portefeuille Herzberg. En effet, certains employés actuels du Portefeuille avaient d'abord été engagés comme étudiant ou associé de recherches.

Le portefeuille Herzberg contribue à formation des étudiants de la façon suivante :

- **La participation des associés de recherches et des étudiants aux activités générales du programme, dont la création d'instruments :** Par exemple, quatre étudiants coop, deux étudiants aux cycles supérieurs et un chercheur postdoctoral ont participé au projet du récepteur dans la bande 3 du télescope ALMA. En outre, il existe des occasions pour les étudiants de participer à d'autres projets instrumentaux grâce aux partenariats du Portefeuille avec les universités.
- **Personnel du portefeuille Herzberg travaillant comme professeur auxiliaire :** Les données pour la période d'évaluation sont incomplètes. Toutefois, un rapport interne montre que, de janvier à mars 2016, seize membres du personnel du Portefeuille étaient professeurs auxiliaires à trois universités canadiennes et onze d'entre eux dirigeaient dix-huit étudiants de quatre universités canadiennes.
- **Assurer aux étudiants un accès aux télescopes nationaux et internationaux :** L'évaluation ne disposait pas de données permettant d'avoir un portrait complet de l'étendue de l'utilisation des télescopes canadiens par les étudiants. Toutefois, le sondage auprès des utilisateurs de télescope nous a montré que, pendant la période évaluée, au moins neuf étudiants à la maîtrise ou au doctorat et cinq chercheurs postdoctoraux ont demandé et obtenu du temps d'observation sur l'un des télescopes soutenus par Portefeuille ou plus.
- **Assurer un accès aux données archivées par le CCDA :** Le personnel du portefeuille Herzberg encourage l'utilisation par les étudiants des données archivées et il visite périodiquement les départements d'astronomie des universités canadiennes pour donner des conférences aux professeurs et aux étudiants relativement au CCDA. Des entrevues avec deux astronomes canadiens révèlent que les données archivées du CCDA sont utilisées pour la formation des étudiants. Un indicateur a signalé que les données archivées sont utilisées en classe pour la formation des étudiants et qu'il considérait que l'accès aux télescopes et aux données d'observation était une composante critique du recrutement de jeunes astronomes pour étudier au Canada.

L'équipe d'évaluation a examiné un échantillon de quinze étudiants embauchés par le portefeuille Herzberg dans le but de comprendre le cheminement de la carrière de certains

étudiants. Elle a trouvé que certains étudiants avaient eu des occasions de travailler comme chercheur postdoctoral dans d'autres institutions et que d'autres étaient devenus professeurs d'université. De façon analogue, quelques associés de recherches sont actuellement employés par le Portefeuille alors que d'autres enseignent dans des universités canadiennes ou à l'étranger. En outre, d'anciens étudiants récents du portefeuille Herzberg travaillent ailleurs qu'en astronomie dans des domaines comme le génie, la finance, la programmation et la création de logiciels.

Le personnel du Portefeuille a exprimé ses inquiétudes sur la possible création de barrières à l'embauche d'étudiants des deuxième et troisième cycles occasionnées par les changements apportés par le CNRC à sa politique des chercheurs invités de 2011. Plus précisément, la direction du Portefeuille considère que les dispositions de la politique dans les domaines de la propriété intellectuelle, de la publication, de l'assurance, de la sécurité et des allocations limitent sa capacité de collaborer avec les universités pour l'embauche d'étudiants. En outre, le personnel a commenté que la transformation du CNRC a affecté leur capacité de collaborer avec les universités dans le cadre de leurs projets d'instrumentation et leur capacité d'engager des étudiants.

4.1.8 Position du Canada en astronomie

Constat n° 21 : *Le Canada joue un rôle de premier plan ou est considéré être un chef de file mondial dans certains domaines de recherche astronomique. Qui plus est, les activités du Portefeuille en recherche astronomique, notamment la conception et la création des instruments d'observation, sont considérées être cruciales pour le soutien du bilan global du Canada en astronomie.*

Position du Canada en astronomie

Le comité d'évaluation n'a pas pu déterminer de façon concluante si la position du Canada dans le domaine de l'astronomie avait changé depuis 2011 (la période d'évaluation). Toutefois, les constats de l'enquête et des entrevues avec les informateurs clés permettent de se faire une idée sur le rôle, le rendement et l'expertise du Canada en astronomie depuis les cinq dernières années.

Presque la moitié des répondants à l'enquête (40 %) ont indiqué que la position du Canada en astronomie était restée identique et un quart a mentionné qu'elle s'était améliorée.

Les informateurs clés qualifient généralement le Canada comme l'un des leaders mondiaux en astronomie. Les experts internationaux rencontrés ont noté que le Canada « se surpasse » et « fait mieux que prévu » en astronomie étant donné la taille de sa population et le financement accordé à la recherche en astronomie. Des informateurs clés ont indiqué que le Canada avait une expertise particulière ou était un leader dans les domaines suivants :

- les planètes extrasolaires (exoplanètes)
- les pulsars
- l'évolution stellaire
- les grands levés astronomiques
- la cosmologie (dont la formation et l'évolution des galaxies)
- l'astrosismologie
- les champs magnétiques cosmiques

Le rôle du portefeuille Herzberg dans le soutien de la position du Canada en astronomie

Les entrevues avec les informateurs clés et les constats de l'enquête auprès des utilisateurs des télescopes indiquent que le Portefeuille joue un rôle important pour appuyer le rendement canadien en astronomie.

Presque tous les répondants à l'enquête (82 %) sont « fortement en accord » ou « d'accord » avec l'énoncé que le portefeuille Herzberg a été un élément important du soutien au rendement du Canada en astronomie depuis les cinq dernières années. En outre, les informateurs clés commentent que le rôle du Portefeuille dans la gouvernance des observatoires est un facteur critique au soutien du rendement du Canada et à sa position prééminente en astronomie.

« Globalement, les publications du portefeuille Herzberg se démarquent au palier mondial pour leur impact scientifique, notamment dans le sous-domaine de l'Astronomie et de l'Astrophysique, et elles sont beaucoup plus citées que les publications semblables à l'échelle mondiale. »

(Science-Metrix 2016, p. 22)

Certains informateurs clés ont remarqué que le gestionnaire principal (GP) du Portefeuille avait joué un rôle de chef en participant à la gouvernance des observatoires et en représentant le Canada à différents conseils et comité d'observatoires et qu'il avait communiqué efficacement les intérêts des Canadiens. Quelques astronomes canadiens et experts internationaux considèrent que la participation du gestionnaire principal à la gouvernance et la planification des projets TMT et SKA constituait l'une des principales contributions canadiennes à ces projets.

4.2 Efficience et économie

Pour évaluer l'efficacité et l'économie du portefeuille Herzberg, l'évaluation a étudié la satisfaction des parties intéressées au sujet du processus d'attribution du temps aux observatoires nationaux et internationaux du Canada, la réalisation des projets d'instrumentation du Portefeuille, les initiatives et les programmes de réduction des coûts des observatoires, ainsi que les risques clés et les éléments cruciaux qui affectent la capacité du Portefeuille de fonctionner efficacement.

4.2.1 Efficacité du processus d'attribution du temps d'observation

Constat n° 22 : La grande majorité des astronomes canadiens sont satisfaits du processus de demande de temps aux observatoires nationaux et internationaux.

Accès à l'OFA et à l'OFRA

Les répondants à l'enquête qui ont utilisé l'OFA et l'OFRA ont exprimé un degré élevé de satisfaction avec tous les aspects du processus d'attribution. En particulier, tous les répondants qui ont utilisé l'OFA étaient satisfaits de l'efficacité globale du processus de demande de temps et seulement un participant n'était pas satisfait de ce processus pour l'OFRA. Si, d'une part, aucune amélioration particulière n'a été recommandée pour l'OFA, certains répondants à l'enquête ont suggéré que le portefeuille Herzberg permette un accès à distance aux télescopes de l'OFRA. Certains répondants ont exprimé leurs inquiétudes relativement aux exigences de vérification de sécurité qui sont perçues comme étant une barrière à l'accès aux télescopes de l'OFRA. Comme l'a fait remarquer sa direction, le Portefeuille fournit des produits de données prêts à être utilisés pour le télescope de synthèse, et les utilisateurs demandent habituellement de visiter l'observatoire afin de comprendre le traitement des données. En outre, le Portefeuille exige parfois que les utilisateurs se présentent et fassent fonctionner le télescope pour des

raisons de sécurité et de personnel. Toutefois, cela n'est pas toujours possible puisque le CNRC doit suivre les politiques du Conseil du Trésor et les normes de sûreté du fonctionnement du télescope et de sécurité physique.

Accès aux observatoires internationaux

Efficacité globale du processus de demande de temps

Les résultats de l'enquête et des entrevues avec les astronomes canadiens ont confirmé que le processus de demande de temps de télescope est bien administré, notamment les activités du Comité canadien d'attribution de temps.

Un fort degré de satisfaction relativement à l'efficacité globale du processus d'attribution a été signalé par les répondants à l'enquête qui ont demandé du temps d'observation avec le TCFH (92 %), les télescopes Gemini (89 %) et le TJCM (79 %). Un seul répondant à l'enquête a exprimé sa frustration à l'égard de l'efficacité globale du processus de demande de temps aux télescopes Gemini et au TJCM.

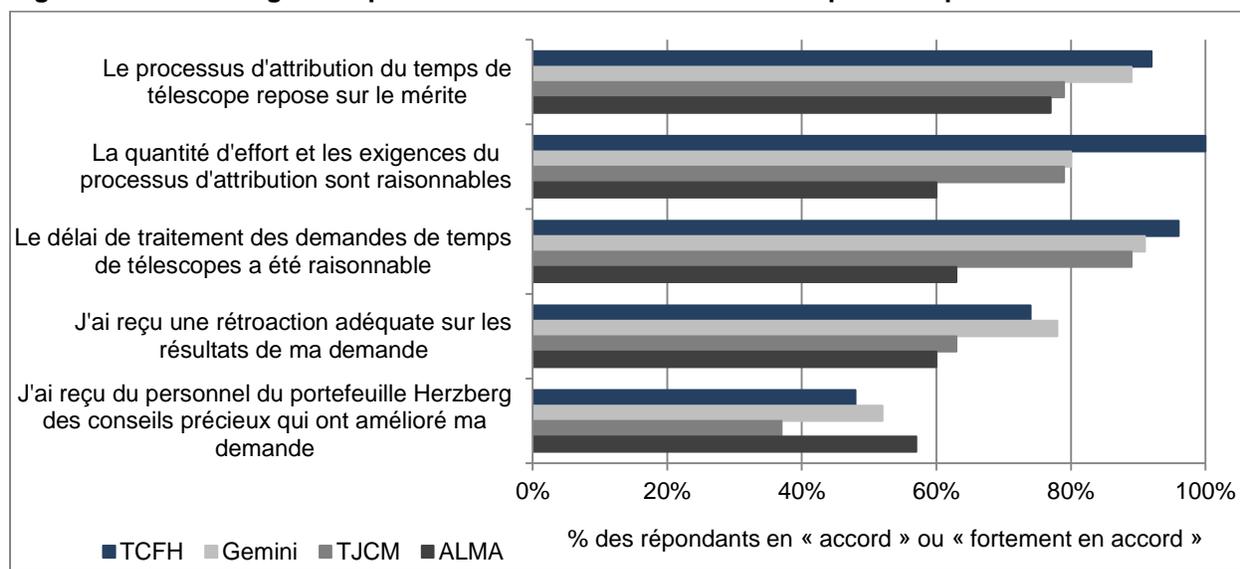
Les demandeurs de temps à l'observatoire ALMA qui ont participé à l'enquête ont indiqué un degré plus bas de satisfaction (63 %) en comparaison avec d'autres télescopes internationaux, mais on devrait noter que seulement 7 % des répondants à l'enquête ont exprimé une opinion négative sur le processus de demande de temps. Plus d'un quart (27 %) n'était « ni d'accord ni en désaccord » avec l'énoncé.

On devrait noter que le processus de demande pour du temps avec l'ALMA est administré par l'Observatoire conjoint ALMA. Or, des astronomes canadiens participent au processus d'étude des propositions et d'attribution de temps. Des commentaires de la direction du Portefeuille indiquent que les résultats de l'enquête sont raisonnables étant donné que l'observatoire ALMA continue de progresser du point de vue opérationnel et que la communauté se familiarise toujours avec ce télescope et avec le processus de demande et d'attribution de temps.

Aspects particuliers du processus de demande de temps d'observation

Comme le montre la Figure 9, une majorité de répondants à l'enquête ont une opinion positive de presque tous les aspects du processus de demande de temps de télescope.

Figure 9 : Pourcentage de répondants satisfaits des différents aspects du processus de demande



Les résultats de l'enquête montrent également que les degrés de satisfaction étaient plus bas dans le cas des quatre télescopes internationaux, au sujet des conseils donnés par le personnel sur les demandes de temps. Toutefois, la plupart des répondants en désaccord avec cet énoncé ont répondu « ni d'accord ni en désaccord » (8 %), « je ne sais pas » (5 %) ou « ne s'applique pas » (28 %).

4.2.2 Coûts généraux du Portefeuille

Constat n° 23 : *Le portefeuille Herzberg fonctionne avec des frais généraux minimes, en fait les frais généraux les moins élevés de tous les portefeuilles du CNRC.*

L'un des indicateurs clés de rendement du CNRC utilisé pour évaluer l'efficacité du portefeuille Herzberg est les coûts généraux (coûts indirects) en fonction des dépenses totales. De l'exercice 2012-2013 à l'exercice 2015-2016, les dépenses indirectes du Portefeuille comptaient pour 9 % des dépenses totales, ce qui est inférieur à sa cible de 12 %⁸. Ces dépenses indirectes ne comprennent pas les frais d'administration associés aux services fournis par l'administration centrale du CNRC en soutien aux activités du Portefeuille (par exemple, le service des ressources humaines, le soutien à la gestion des affaires, les services administratifs et de gestion de l'immobilier et les communications). L'ajout de ces dépenses augmenterait les frais généraux des activités du Portefeuille. De plus, des informateurs internes clés ont remarqué que les exigences de l'administration centrale, notamment au chapitre des rapports, diminuent l'efficacité du portefeuille Herzberg.

Constat n° 24 : *Les obligations de dépôts de rapports découlant de la structure de portefeuilles de programmes sont perçues comme étant « lourdes » et « artificielles ».*

Tous les informateurs internes clés ont signalé que la structure de portefeuille de programmes imposée par le CNRC était artificielle et que la formalisation de cette structure « sur papier » par

⁸ On devrait noter qu'un examen des données pour les indicateurs clés de rendement du CNRC a indiqué que le taux d'utilisation du personnel du portefeuille Herzberg était de 96 % pour les exercices de 2012-2013 à 2015-2016, ce qui est très supérieur à celui des autres portefeuilles du CNRC. L'équipe d'évaluation n'a pas réalisé une évaluation exhaustive des raisons pour lesquelles le taux d'utilisation du personnel est inhabituellement élevé par rapport à celui des autres portefeuilles du CNRC.

le cycle de vie des programmes du CNRC n'a produit aucun changement réel sur le fonctionnement réel du portefeuille Herzberg. Les obligations de rapport découlant de la nouvelle structure, telles que les rapports trimestriels sur les programmes, ont été le principal problème trouvé, puisque ces obligations ont traduit des coûts généraux qui n'ajoutent pas de valeur pour le Portefeuille.

4.2.3 Efficacité de l'exécution des projets d'instrumentation

Constat n° 25 : *Le portefeuille Herzberg a exécuté ses projets, dans les délais, dans les coûts et conformément aux spécifications techniques.*

Il existe un consensus parmi les informateurs clés qui ont collaboré à des projets d'instrumentation avec le portefeuille Herzberg (représentants d'observatoires, chercheurs en collaboration et représentant de l'industrie) que le Portefeuille a constamment terminé ses projets à temps, à l'intérieur du budget et conformément aux spécifications techniques. Les collaborateurs externes ont vanté l'esprit d'équipe de la direction et du personnel du Portefeuille et leur intérêt marqué pour les clients.

« Le portefeuille Herzberg a construit des instruments pour [l'observatoire] pendant 20 ans et il est un collaborateur fiable et compétent. D'emblée, nous aimons travailler avec eux, car ils sont très rigoureux. Ils sont capables de livrer les instruments. Le Portefeuille a d'excellents ingénieurs. [...] Ils ont de l'expertise et sont l'un des trois ou cinq meilleurs groupes de constructeurs d'instruments du monde. »

Partenaire d'observatoire

L'évaluation a démontré que le Portefeuille avait développé de fortes aptitudes et de bons outils de gestion de projet, avec la réalisation de projets de R-D de plus en plus complexes auxquels ont participé de grandes équipes de collaborateurs nationaux et internationaux. Le Portefeuille a aussi démontré sa capacité de s'adapter aux différentes obligations de gestion de projet imposées par les observatoires ayant signé un contrat avec le Portefeuille.

Toutefois, lorsqu'on a interrogé les informateurs internes clés sur les avantages des nouveaux processus et outils de gestion de projet mis en place par l'administration centrale du CNRC dans le cadre de la transformation du CNRC, ils ont révélé qu'ils n'utilisaient pas ces outils pour la gestion de projets et, qu'à leur avis, ils n'ajoutaient pas de valeur aux activités du Portefeuille. En fait, ces informateurs perçoivent que la fonction de gestion de projet du système SAP est un outil de production de rapports au bénéfice exclusif de l'administration centrale du CNRC. Qui plus est, les informateurs clés à l'interne signalent l'obligation imposée par l'administration centrale du CNRC d'entrer des données de projet dans le système SAP produit des frais indirects pour le Portefeuille, car un employé doit consacrer une grande proportion de son temps de travail à entrer des informations de projet tous les trimestres. Le bureau de la vice-présidente (BVP) des technologies émergentes — Infrastructures nationales et technologies d'avenir est conscient de ces difficultés et a entamé des discussions avec la direction du portefeuille Herzberg.

4.2.4 Risques et éléments clés qui influencent l'utilisation efficace des ressources par le Portefeuille

Les preuves suggèrent que le contexte du fonctionnement du portefeuille Herzberg crée des difficultés de fonctionnement et des risques sur sa capacité d'atteindre ses objectifs. Les principaux facteurs sont plus précisément : la volatilité du dollar canadien, les difficultés associées aux services partagés et aux changements clés de l'environnement général de la

technologie de l'information au palier du gouvernement fédéral. Cette sous-section est consacrée à une discussion de ces éléments et de leur impact.

Volatilité des cours du change du dollar canadien

La baisse de la valeur du dollar canadien a un effet important sur le volet « subvention et contributions » des dépenses du portefeuille Herzberg. L'impact découle principalement de la différence entre le cours utilisé pour établir la prévision annuelle du Portefeuille et le cours en vigueur au moment de payer. Par exemple, une fluctuation du cours de 10 % peut se traduire par un changement de plus d'un million de dollars canadiens dans les coûts. Avec l'aide de l'administration financière du CNRC, le Portefeuille a mis en place des contrôles et des mécanismes pour planifier et atténuer les effets de l'augmentation de ces coûts. La sous-section 2.3.1 du présent rapport contient plus d'information sur ce problème.

Difficultés associées des services partagés

Lors de la mise en œuvre de la stratégie du CNRC 2013-2018, plusieurs fonctions administratives (par ex., les RH, les finances, la gestion des affaires, les acquisitions et le soutien informatique) qui étaient sous la responsabilité des instituts furent centralisées. Une vaste évaluation des services communs du CNRC n'a pas été réalisée dans le cadre de cette évaluation. Cela dit, l'évaluation a néanmoins mis en lumière des inefficacités dans certains des services fournis au portefeuille Herzberg.

Constat n° 26 : *Des difficultés opérationnelles se sont manifestées dans les domaines des acquisitions, de l'embauche et du soutien informatique.*

Constat n° 27 : *Le portefeuille Herzberg nécessite un accès à un soutien informatique pour les ordinateurs de bureau utilisant les systèmes d'exploitation UNIX et Mac OS. Or, le soutien des Services de technologies de l'information et du savoir du CNRC pour les ordinateurs de bureau est presque exclusivement dédié au système Windows de Microsoft.*

Des informateurs internes clés indiquent que la centralisation des services intégrés du CNRC s'est traduite par la réduction du degré et de la qualité de plusieurs fonctions administratives. Les principales difficultés les plus souvent mentionnées par les informateurs internes et dans les documents de planification du portefeuille Herzberg sont :

- **Les services d'acquisition :** La hausse accrue pour les services d'acquisition, particulièrement dans le court terme, occasionnée par l'accroissement des charges de travail associées au projet du TMT a été désignée comme un risque important qui pourrait diminuer la capacité du Portefeuille de compléter ses projets d'instrumentation. Elle pourrait entraîner des retards potentiels pour le projet et avoir des impacts négatifs sur la réputation du Portefeuille et sa capacité à décrocher des projets d'instrumentation à l'avenir. En conséquence de la centralisation du CNRC, les ETP consacrés aux processus d'acquisition ont été réduits de quatre à deux. Pour satisfaire à ses besoins en matière d'acquisition, le portefeuille Herzberg a embauché à temps partiel un agent de contrat local du ministère des Travaux publics et des Services gouvernementaux (TPSGC) pour faciliter les étapes finales du processus d'acquisition.
- **Embauche :** De l'exercice 2012-2013 à l'exercice 2015-2016, le temps moyen nécessaire pour réaliser une mesure de dotation a plus que doublé, passant de 69 à 155 jours. Les informateurs clés à l'interne ont signalé que la durée d'exécution des mesures de dotation a contribué de façon importante à l'abandon d'un processus d'embauche par un candidat.

Toutefois, on a constaté que cet allongement n'était pas un obstacle majeur pour attirer du personnel hautement qualifié, possiblement à cause de la réputation du portefeuille Herzberg. Ce dernier continue d'attirer des chercheurs de classe mondiale dans le domaine de l'astronomie.

- **Soutien du bureau de la technologie informatique** : Le soutien des Services du savoir, de l'information et des technologies (SSIT) est presque exclusivement donné aux utilisateurs de Microsoft Windows, alors que presque tous les chercheurs du portefeuille Herzberg utilisent des systèmes UNIX ou Mac. Selon les chercheurs du Portefeuille, les systèmes UNIX sont normalement utilisés pour la recherche en astronomie, puisque les logiciels utilisés et créés pour et par la communauté astronomique sont écrits pour des machines UNIX (les Mac exécutent de façon native une version normalisée d'UNIX). Bien que les SSIT aient récemment créé un groupe de soutien informatique pour les utilisateurs d'UNIX et de Mac, pendant la période d'évaluation, les informateurs internes clés n'ont pas mentionné qu'ils avaient accès aux services fournis par ce groupe.

Les éléments probants suggèrent que si elles ne sont pas réglées, ces difficultés pourraient avoir un impact sur la capacité du Portefeuille d'exécuter la suite de son mandat.

L'environnement informatique général – Services partagés Canada (SPC) et la cyberintrusion du CNRC

Constat n° 28 : *Le transfert de l'infrastructure informatique du Portefeuille à Services partagés Canada a limité sa capacité de fournir des services de gestion des données à ses clients (la communauté astronomique).*

En juillet 2012, l'infrastructure informatique (serveurs et réseau) d'accès aux données astronomiques canadiennes a été transférée à un nouveau ministère centralisé, Services partagés Canada. Le portefeuille Herzberg a qualifié l'impact de ce transfert des ressources du CCDA à Services partagés comme « grave » sur le plan de sa capacité de planifier, mettre en œuvre et acquérir du matériel nouveau et des capacités de réseau. Le Portefeuille n'est pas le seul à éprouver des problèmes avec le niveau des services fournis par Services partagés, mais sa situation ressemble à celle signalée dans le Rapport d'automne 2015 du Bureau du vérificateur général qui mentionne que Services partagés Canada a éprouvé des difficultés à satisfaire les attentes relatives au service informatique de ses clients au sein du gouvernement fédéral (BVG 2015). La cyberintrusion dont le CNRC a été la victime en 2014 a compliqué davantage la prestation de ces services (depuis les efforts de Services partagés Canada et des Services du savoir, de l'information et des technologies ont été axés sur les questions liées à la cyberintrusion).

L'évaluation a permis de découvrir deux problèmes clés auxquels le Portefeuille a été confronté pendant la période couverte par l'évaluation et qui concernaient l'accès aux données des télescopes :

- **Besoin d'amélioration du matériel informatique** : Selon les documents internes, le processus de collaboration avec Services partagés Canada pour acquérir des améliorations au matériel informatique a éprouvé des difficultés puisque les communications étaient « sporadiques ou non existantes ». Le besoin de remplacer les serveurs désuets et les appareils de stockage de données a fait courir au CNRC le risque d'être en inexécution d'un contrat de prestation de service et a affecté la qualité globale du service offert à ses clients. Plutôt que de continuer à poursuivre Services partagés

Canada pour les améliorations à l'infrastructure informatique du CCDA, le Portefeuille a réglé ce problème en accordant un contrat de développement avec Calcul Canada. Ce projet est en cours d'exécution.

- **Le besoin d'un réseau à grand débit pour les utilisateurs** : Dans l'évaluation précédente, en 2011, on avait conclu que « puisque le CCDA n'a pas un accès à grand débit au réseau, ses services ne sont pas optimisés, et le degré de service qu'il peut offrir à ses clients est limité » [trad.]⁹. En juillet 2016, le réseau n'avait pas encore été mis à niveau de 1 Go/s à 10 Go/s pour égaler les débits disponibles aux chercheurs branchés à d'autres réseaux. À l'heure actuelle, les Services de technologies de l'information et du savoir, Services partagés Canada et le portefeuille Herzberg ne s'étaient pas entendus sur la manière d'obtenir une solution qui satisfasse à toutes les parties. Selon les informateurs internes clés, le besoin d'amélioration du réseau est une question critique continue pour le Portefeuille. Les données internes révèlent que le faible débit du réseau disponible au CCDA a des répercussions négatives sur la capacité du portefeuille Herzberg de fournir un accès aux données d'observation. La demande d'accès aux données du CCDA a souvent conduit à la sursaturation du réseau provoquant la défaillance et l'interruption des services, et perturbant les services pour d'autres utilisateurs du CNRC provenant du secteur privé. Le CCDA constitue une interface entre le CNRC et la communauté astronomique internationale, ainsi le manque d'uniformité dans la prestation du service entraîne des risques pour la réputation du CNRC.

De plus, la création en réaction à la cyberintrusion d'une nouvelle infrastructure informatique (appelée la « zone verte ») a ajouté une couche de complexité aux fonctionnalités de l'environnement informatique du CNRC. En fait, le personnel du Portefeuille ressent que de devoir naviguer entre les infrastructures informatiques avec deux ordinateurs portables rend fastidieuses de simples tâches comme l'entrée de temps ou la demande de service aux Services communs du CNRC. En outre, selon la direction du Portefeuille, la distribution d'ordinateurs portables verts à l'OFRA a été organisée sans consultation préalable et « a forcé l'observatoire de consacrer plusieurs heures pour la conception et l'essai de nouvelles boîtes de confinement des radiofréquences parasites pour ces appareils » [trad.]. Selon ce gestionnaire, le coût de ces boîtes anti-interférence excédait énormément le coût des portables qui, au demeurant, n'ont aucune utilité pour les activités de recherches du Portefeuille.

Un chercheur du portefeuille Herzberg a déclaré au sujet de l'environnement informatique actuel du CNRC qu'« il est difficile de croire qu'un organisme ayant une telle renommée est si inefficace dans la fourniture du soutien informatique de base » [trad.]. Selon un informateur clé, cette situation pourrait grandement nuire à la capacité du portefeuille Herzberg de retenir des chercheurs de classe mondiale.

Recommandation n° 5 : En collaboration avec les SSIT, le portefeuille Herzberg devrait poursuivre ses efforts pour résoudre les problèmes d'amélioration du matériel informatique et de capacité de haut débit du réseau pour le CCDA.

⁹ De plus, l'évaluation de 2011 indiquait que le débit habituel des communications des chercheurs des universités canadiennes était de 10 Go/s. Toutefois en juillet 2013, le réseau CANARIE qui reliait la communauté de recherche canadienne accommodait des débits allant jusqu'à 100 Go/s (CANARIE 2013).

4.2.5 Utilisation efficace du financement par les administrateurs des télescopes internationaux

Constat n° 29 : *Les administrateurs des observatoires mettent en vigueur des initiatives et des programmes de réduction des coûts et d'amélioration de l'efficacité opérationnelle.*

Les apports annuels des observatoires contiennent plusieurs exemples d'initiatives prises par les observatoires pour réduire les coûts et accroître l'efficacité globale. Voici quelques exemples de ces initiatives

- **Meilleure efficacité énergétique et réduction des coûts d'énergie :** En 2013, des panneaux photovoltaïques (pour l'énergie solaire) ont été installés sur le toit du quartier général du TCFH à Waimea qui assureront 40 % de l'alimentation en énergie. De plus, on a remplacé les fluorescents traditionnels par les lampes à DEL dans tout l'immeuble (TCFH 2013, p. 20).
- **Programme de transition de Gemini :** Après le retrait du Royaume-Uni et la baisse d'environ 20 % (7,4 millions de dollars) de son budget d'exploitation, l'observatoire Gemini a lancé un programme de transition en 2013, afin de mettre en œuvre des activités de réduction des coûts tout en maintenant les activités. Selon le rapport annuel 2015 de Gemini, l'observatoire avait réussi à réduire ses dépenses de 6,5 millions de dollars dans son budget pour 2012. Ces économies découlent de trois mesures : la réduction du personnel (de 212 ETP en 2011 à 178 en 2015); la réduction des dépenses non liées à la main-d'œuvre (fournitures, voyages, ordinateurs, etc.); la mise en œuvre de projets qui soutiennent les opérations avec un effectif réduit ou qui entraînent d'autres économies annuelles (incluant la réduction des coûts de l'archivage des données, la hausse des observations par des chercheurs visiteurs et les économies d'énergie) (Gemini Observatory 2015, p. 18–21).

4.2.6 Capacité du portefeuille Herzberg d'influencer les processus de décision de la gouvernance des télescopes canadiens outre-mer

Constat n° 30 : *Le personnel du portefeuille Herzberg participe à divers conseils d'administration et comités d'observatoire et, conséquemment, il participe directement aux processus de prise de décision sur les télescopes internationaux soutenus par le Canada.*

Comme nous le mentionnions à la sous-section 3.1.1, le portefeuille Herzberg participe à de nombreux conseils d'administration et comités des cinq observatoires visés par cette évaluation. Il participe au conseil d'administration et au comité des finances ou du budget des cinq observatoires. Les informateurs clés ont signalé que le gestionnaire principal et un directeur du Portefeuille présidaient les comités des finances ou du budget de l'observatoire Gemini et du TCFH. Ces comités sont responsables de l'approbation et de l'examen des budgets des observatoires. En outre, le gestionnaire principal du portefeuille Herzberg a présidé le conseil d'administration de l'Organisation du SKA et est actuellement vice-président de l'Observatoire international de trente mètres. Le Portefeuille est aussi membre des comités de vérification du TCFH, de l'Observatoire international de trente mètres et de l'Organisation du SKA et il participe ainsi à l'examen des états financiers et à l'étude des rapports de vérification externes. Conséquemment, le portefeuille Herzberg participe directement aux processus des décisions relatives aux activités, à la planification et aux finances des observatoires. Pour finir, les informateurs clés ont indiqué que les représentants du Portefeuille au conseil d'administration de l'ALMA et ont noté que :

- le représentant du Portefeuille au conseil d'administration de l'ALMA en est actuellement le vice-président (un rôle important pour l'établissement et le contrôle de l'ordre du jour et des travaux du conseil)
- un représentant du Portefeuille préside le comité budgétaire de l'ALMA

5. Conclusion

L'évaluation conclut que le portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique est globalement aligné avec le Plan à long terme 2010, ce qui garantit que les activités du Portefeuille et ses priorités d'investissement satisfont aux besoins de la communauté astronomique canadienne. En outre, on juge que le Portefeuille joue un rôle crucial dans la représentation des intérêts de la communauté astronomique canadienne au palier international par son investissement dans les observatoires actuels et futurs. Les installations du Portefeuille à l'OFA et à l'OFRA sont uniques au Canada, elles offrent des capacités et une expertise centrales pour la création d'instruments et d'infrastructures pour les observatoires.

Le portefeuille Herzberg a eu un bon rendement et il a eu des impacts importants en soutenant les observatoires outre-mer du Canada ainsi que d'autres télescopes autour du monde. Ce soutien a surtout été apporté par la participation du Portefeuille à la gouvernance des observatoires internationaux, au soutien financier et à la création d'instruments et de technologies de classe mondiale. Le Portefeuille a collaboré avec l'industrie à différents projets d'instrumentation, ce qui s'est traduit par des répercussions positives pour les entreprises partenaires. Au cours de la période visée par l'évaluation, le Portefeuille a effectivement atteint ses objectifs, toutefois des éléments probants indiquent qu'il est confronté à des difficultés opérationnelles qui pourraient nuire à sa capacité d'accomplir son mandat.

Les technologies de l'information sont la source des plus graves préoccupations. Notamment, les capacités limitées du réseau du CCDA ont nui à la capacité du Portefeuille d'offrir un accès aux données des télescopes. En outre, puisque les données d'observations collectées par les observatoires sont de plus en plus complexes – en particulier avec les télescopes de la prochaine génération – le besoin d'informatique de haute performance et de meilleures capacités de gestion de données est un problème critique qui doit être réglé pour que le CCDA demeure un joueur clé dans les domaines de l'archivage et du traitement des données astronomiques. L'évaluation a observé que, depuis le transfert vers Services partagés Canada de l'infrastructure informatique du portefeuille Herzberg, ce dernier éprouve des difficultés dans sa capacité de planifier, d'installer et d'acquérir du nouveau matériel et des capacités de réseau. Parmi les difficultés supplémentaires, on compte les délais d'acquisition, l'allongement de la durée des mesures de dotation et les limites du soutien du bureau de la technologie informatique.

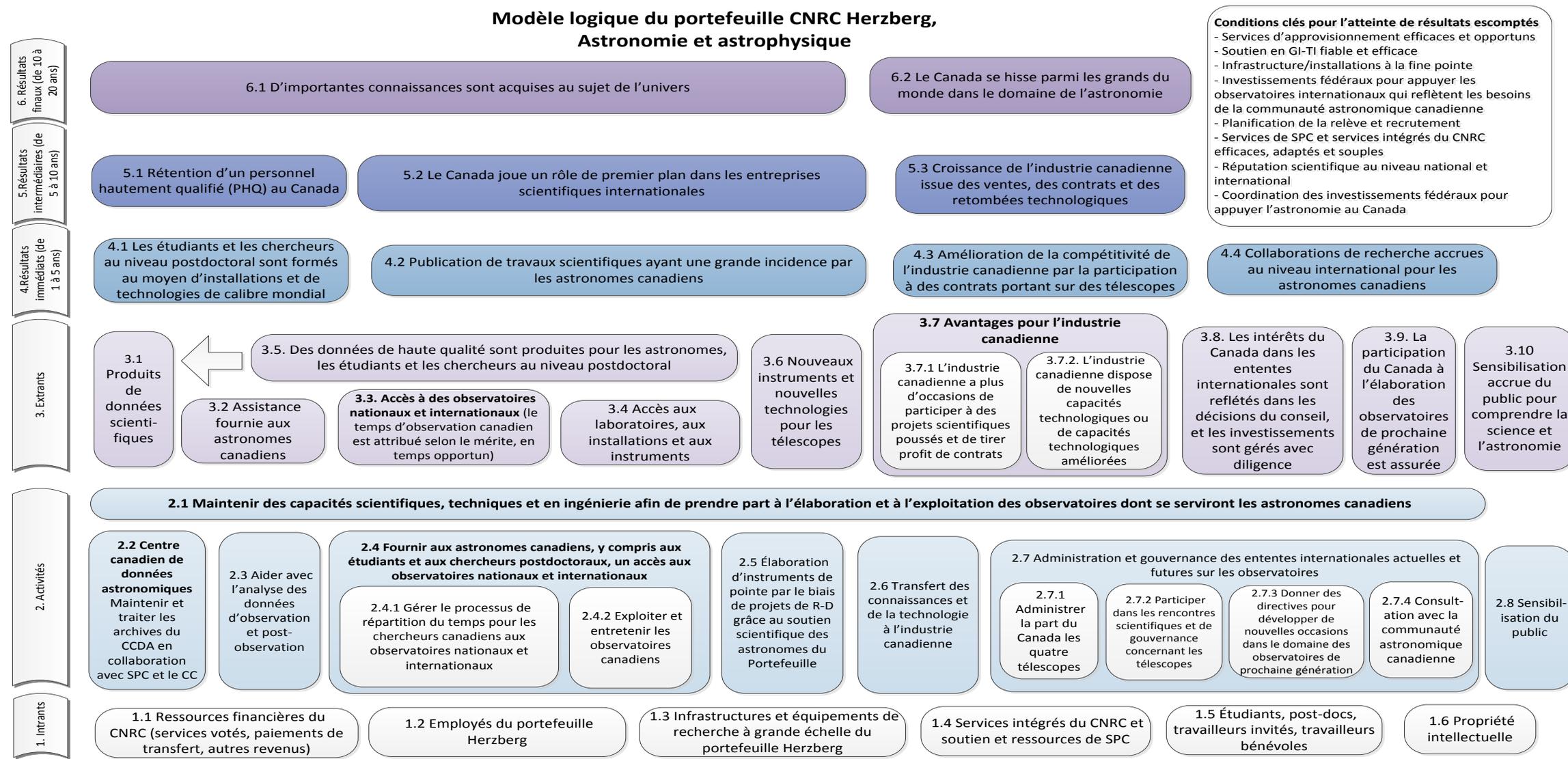
Grâce à sa participation actuelle aux observatoires de la prochaine génération — dont le SKA et le TMT — le portefeuille Herzberg semble bien placé pour continuer à obtenir des résultats dans l'avenir.

6. Réponse de la direction

Recommandation	Réponse et mesure(s) proposée(s)	Responsable(s) proposé(es)	Date butoir	Mesure(s) de succès
Le bureau de la vice-présidente (BVP) des technologies émergentes — Infrastructures nationales et technologies d'avenir, en consultation avec le portefeuille Herzberg devrait considérer la mise en place d'un processus officiel de consultation pour permettre à la communauté astronomique canadienne de donner des conseils stratégiques sur les activités et priorités scientifiques du Portefeuille.	Acceptée. Le CNRC examinera les mécanismes appropriés pour recevoir régulièrement des conseils de la part de la communauté astronomique et concevra une proposition pour un processus au cours de l'exercice 2017-2018.	V.-P. GP	Mai 2017	Un mécanisme de consultation par lequel la communauté pourra commenter les orientations stratégiques du portefeuille Herzberg sera conçu et mis en œuvre.
Le portefeuille Herzberg devrait continuer sa collaboration avec des partenaires pour accroître ses activités de vulgarisation et de rayonnement.	Acceptée. Le portefeuille continuera à collaborer avec des partenaires pour étendre ses activités de vulgarisation. Un nouveau modèle visant à optimiser l'utilisation du Centre de l'Univers sera exploré.	GP	Juin 2017	Un plan pour les activités locales de vulgarisation est mis en œuvre.
Le portefeuille Herzberg, en collaboration avec d'autres portefeuilles du CNRC et du Soutien à la gestion des affaires (SGA) du CNRC devraient explorer les possibilités de tirer parti des compétences et des technologies utilisées en astronomie.	Acceptée. Le portefeuille Herzberg, avec l'appui du bureau de la vice-présidente (BVP) des technologies émergentes — Infrastructures nationales et technologies d'avenir entamera des discussions avec la communauté élargie du CNRC et s'assurera que les compétences et la propriété intellectuelle du portefeuille Herzberg sont connues et partagées.	GP	Octobre 2017	Des discussions ont eu lieu et les compétences et la propriété intellectuelle du Portefeuille sont présentées aux autres portefeuilles du CNRC.

Recommandation	Réponse et mesure(s) proposée(s)	Responsable(s) proposé(es)	Date butoir	Mesure(s) de succès
Le portefeuille Herzberg devrait découvrir les raisons pour lesquelles le temps d'observation attribué aux chercheurs principaux du Canada n'est pas proportionnel à son soutien financier au fonctionnement d'ALMA et, au besoin, prendre les mesures adéquates que l'on aura discernées.	Acceptée. Le portefeuille Herzberg collaborera avec la communauté astronomique canadienne et la NSF des États-Unis pour comprendre pourquoi le temps d'observation attribué aux chercheurs principaux du Canada n'est pas proportionnel à sa part des contributions au consortium nord-américain et il tentera d'éliminer tout obstacle à l'accès du Canada.	GP	Septembre 2017 (pour le cycle 5 de demandes de temps à l'ALMA)	On aura découvert quels sont les obstacles à l'accès des Canadiens et, au besoin, un plan d'action pour les surmonter aura été créé et mis en œuvre.
Le portefeuille Herzberg, de concert avec les SSIT devrait poursuivre ses efforts de recherche de solutions pour améliorer le matériel informatique et l'accès à grand débit au réseau du CCDA.	Acceptée. Le CNRC continuera ses efforts pour trouver une solution pour s'assurer que les services du CCDA aux clients ne sont pas touchés.	GP DPI	Septembre 2017	Des discussions avec les SSIT et Services partagés Canada ont eu lieu et des solutions avec des délais acceptables ont été trouvées.

ANNEXE A: MODÈLE LOGIQUE DU PORTEFEUILLE HERZBERG



ANNEXE B : MÉTHODOLOGIE

Nous présentons dans cette annexe une description détaillée de la méthodologie, notamment de la conception et l'approche de l'évaluation, des difficultés et des limites rencontrées pendant l'évaluation et des méthodes de collecte de données.

Conception de l'évaluation

Cette évaluation a été réalisée conformément au plan approuvé d'évaluation du CNRC et les politiques du Secrétariat du Conseil du Trésor. La dernière évaluation du portefeuille Herzberg du CNRC remonte à 2011. Le moment de l'évaluation a aussi été fixé par les obligations légales formulées dans la *Loi sur l'administration financière* qui précise que l'évaluation de la contribution du Portefeuille aux observatoires internationaux devra être terminée en novembre 2016.

Les questions visées par l'évaluation sont présentées au Tableau 7. Les questions d'évaluation ont été rédigées à la suite d'un examen des documents du programme et en consultation avec la direction du Portefeuille et le vice-président, Technologies émergentes. Il faut noter qu'une évaluation exhaustive et en profondeur du rendement des services internes du CNRC n'était pas dans portée de l'évaluation.

Tableau 7 : Aspects et questions de l'évaluation

Enjeux de l'évaluation	Questions d'évaluation
Pertinence — nécessité de poursuivre le programme	1. Dans quelle mesure le portefeuille Herzberg est-il aligné avec les besoins actuels des chercheurs canadiens en astronomie? 2. Dans quelle mesure le modèle actuel d'administration et d'exploitation des télescopes du Canada satisfait-il aux besoins de la communauté astronomique canadienne? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Existe-t-il d'autres modèles qui conviendraient mieux aux besoins de la communauté astronomique canadienne? ▪ Quelles sont les conditions nécessaires pour qu'un tel autre modèle satisfasse aux obligations juridiques, réglementaires et opérationnelles du Canada?
Pertinence — Harmonisation avec les priorités fédérales et du CNRC	3. Dans quelle mesure le portefeuille Herzberg est-il aligné avec les priorités fédérales et les objectifs stratégiques du CNRC? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quelles ont été les répercussions de la transition du CNRC vers un modèle d'organisation de recherche et technologie sur les activités et les priorités stratégiques du Portefeuille?
Pertinence — En phase avec les rôles et les responsabilités du gouvernement fédéral	4. Dans quelle mesure les activités et les résultats stratégiques du portefeuille Herzberg correspondent-elles aux rôles et aux responsabilités du gouvernement fédéral?
Rendement — efficacité	5. Dans quelle mesure, le portefeuille Herzberg a-t-il réussi à offrir aux astronomes canadiens, un accès aux : <ul style="list-style-type: none"> ▪ meilleurs télescopes nationaux et internationaux

Enjeux de l'évaluation	Questions d'évaluation
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ produits de données scientifiques (le CCDA)?
	<p>6. Quelles ont été les répercussions scientifiques des télescopes nationaux et internationaux exploités et administrés par le portefeuille Herzberg d'astronomie et d'astrophysique?</p>
	<p>7. Quelles ont été les contributions du portefeuille Herzberg à la création de nouveaux instruments et technologies, en soutien aux télescopes actuels et futurs du Canada?</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quelles ont été les répercussions sur l'industrie du développement de nouveaux instruments et technologies par le Portefeuille?
	<p>8. Dans quelle mesure et de quelles façons, le portefeuille Herzberg a-t-il soutenu les universités canadiennes relativement à la formation des étudiants et des chercheurs postdoctoraux?</p>
	<p>9. Dans quelle mesure, le portefeuille Herzberg a-t-il contribué à renforcer la position du Canada parmi les chefs de file mondiaux en astronomie?</p>
<p>Rendement — efficience et économie</p>	<p>10. Jusqu'à quel point le portefeuille Herzberg est-il administré de façon économique et efficiente?</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quels facteurs ont-ils facilité ou gêné la capacité du portefeuille Herzberg de gérer ses ressources d'une manière économique et efficiente?

L'évaluation du portefeuille Herzberg a été menée par une équipe d'évaluation indépendante du Bureau de la vérification et de l'évaluation. Le travail de l'équipe d'évaluation a été soutenu par le Comité consultatif de l'évaluation qui lui a prodigué des conseils et des contributions sur les éléments livrables clés.

Afin de maximiser la possibilité de produire des constats utiles, valides et pertinents pour l'évaluation, l'équipe a utilisé une méthodologie mixte permettant les recoupements (convergence des résultats provenant de différentes sources de donnée) et la complémentarité (l'utilisation de méthodes de recherche complémentaires pour obtenir différentes perspectives par l'examen des différents aspects de questions complexes). Les méthodes employées lors de l'étude ainsi que ses difficultés et limites sont discutées plus bas.

Méthodologie

Cette évaluation repose sur des méthodes de recherches qualitative et quantitative, notamment :

- Examen des publications et analyse documentaire
- Analyse des données administratives et sur le rendement
- enquête sur les utilisateurs de télescopes canadiens
- Entrevues avec les informateurs clés
- Études de cas

Examen des publications et analyse documentaire

Nous avons examiné, synthétisé et intégré dans l'évaluation la documentation interne et externe pour obtenir des renseignements contextuels et historiques et pour compléter d'autres éléments de preuve afin d'évaluer l'adéquation et le rendement. Les documents internes sont les rapports de planification stratégique du Portefeuille, les plans d'affaires et les plans de mise en œuvre, ainsi que les *Rapports sur le rendement ministériel du CNRC* et les *Rapports sur les plans et les priorités (RPP)*. Les documents externes sont les publications de la CASCA, tels le *Plan à long terme 2010* et l'*Examen à mi-parcours du Plan à long terme 2010*, ainsi que les publications et les rapports rédigés par les télescopes canadiens outre-mer.

Analyse des données financières, administratives et sur le rendement

Nous avons étudié des données financières, administratives et sur le rendement pour obtenir des informations sur les résultats et les répercussions des programmes et comme source pour l'analyse de l'utilisation des ressources. Les données administratives et sur le rendement nous ont été fournies par le personnel du Portefeuille, alors que les données financières nous ont été données par la Direction des finances du CNRC.

Nous avons consulté les rapports demande/offre pour le temps de télescope, les taux de publication des télescopes canadiens outre-mer, les dépenses et les revenus des portefeuilles, ainsi que les statistiques sur les ressources humaines.

Enquête auprès des utilisateurs de télescopes canadiens

Nous avons mené une enquête auprès des utilisateurs des observatoires nationaux et internationaux du Canada. L'ensemble des répondants était constitué des astronomes canadiens qui avaient demandé du temps d'observation avec un télescope entre 2011 et 2015. L'enquête visait plus particulièrement les astronomes canadiens titulaires d'un poste de professeur dans une institution postsecondaire, les étudiants d'une institution postsecondaire et les chercheurs postdoctoraux. Dans le cadre de l'enquête, on n'a pas sondé de chercheurs du portefeuille Herzberg.

L'enquête a évalué l'expérience vécue par les utilisateurs sur les plans de l'accès et elle a amassé des renseignements sur le rendement du Canada en astronomie depuis 2011. Plus particulièrement, nous avons posé aux répondants une série de questions visant à évaluer le processus d'attribution de temps administré par les observatoires, à évaluer les impacts sur la science de leur utilisation du télescope et de recenser les contributions du Canada en astronomie depuis les cinq dernières années.

Le questionnaire présenté sur Internet en français et en anglais a été distribué par la Direction des communications et relations du CNRC à l'aide du logiciel Web FluidSurveys. On a pu répondre au questionnaire pendant trois semaines. Pendant la période de réponse, le gestionnaire principal du portefeuille Herzberg a envoyé par courriel une invitation initiale et deux rappels.

Les invitations ont été envoyées à 306 personnes. Onze d'entre elles ont indiqué qu'elles ne se considéraient pas comme des utilisatrices directes des télescopes terrestres nationaux et internationaux et elles ont été exclues de l'échantillon de l'enquête. Conséquemment, l'échantillon final comptait 295 chercheurs. Au total, 95 répondants ont participé à l'enquête, ce qui donne un taux de réponse de 32 %.

Un rapport sur l'analyse des résultats de l'enquête a été produit. Dans la mesure du possible, les résultats ont été comparés à ceux obtenus lors d'une enquête réalisée lors de l'évaluation précédente en 2011.

On devrait prendre note que les résultats de l'enquête signalent que l'une des questions n'avait pas été bien formulée. À la question qui demandait si le personnel du Portefeuille leur avait prodigué des conseils précieux pour la rédaction de leur demande de temps d'observation, la plupart des répondants qui s'opposaient à l'énoncé ont coché l'une des trois réponses suivantes « ni d'accord ni en désaccord », « je ne sais pas » ou « sans objet ». L'énoncé de la question aurait dû comprendre le soutien donné, non seulement par le Portefeuille, mais aussi par les observatoires. À cet égard, pendant l'analyse des résultats de l'enquête on a informé l'équipe d'évaluation, qu'en général, les conseils étaient directement donnés par les observatoires ou les comités externes. Dans le cas du TCFH, par exemple, le portefeuille Herzberg verse à l'observatoire les sommes nécessaires pour employer des astronomes résidents canadiens qui, en contrepartie, agissent comme personne-ressource informelle pour les demandeurs et utilisateurs canadiens du TCFH. Dans le cas de Gemini, les commentaires proviennent du bureau national de Gemini qui est administré par des employés du Portefeuille, conformément à l'accord de partenariat de cet observatoire.

Entrevues avec les informateurs clés

Nous avons consulté des intervenants internes et externes pour recueillir informations qualitatives sur la pertinence et le rendement du portefeuille Herzberg. Les renseignements recueillis lors d'entrevues qualitatives et semi-structurées reflètent les expériences personnelles, les opinions et les connaissances d'experts. Ces renseignements sont importants pour contextualiser les données sur le rendement et les autres statistiques.

Les entrevues ont été faites soit en personne, soit au téléphone. Chacune a duré de 30 à 90 minutes et a été réalisée à l'aide d'un guide d'entrevue. Ces guides ont été adaptés pour chaque groupe d'informateurs clés en s'assurant que les questions étaient pertinentes pour chaque groupe. Tous les informateurs clés ont reçu un exemplaire du guide avant l'entrevue.

Globalement, 31 entrevues ont été réalisées auprès du personnel du CNRC et du portefeuille Herzberg, des parties prenantes externes, des représentants des observatoires canadiens outre-mer et des experts d'autres pays. Nous avons choisi les personnes rencontrées en consultation avec la direction du Portefeuille et du Comité consultatif de l'évaluation. Afin d'encourager la participation, le gestionnaire principal du Portefeuille un courriel aux personnes potentiellement rencontrées les informant de l'évaluation et les invitant à participer. L'équipe d'évaluation a contacté les informateurs clés pour confirmer leur participation et organiser l'entrevue.

Le Tableau 8 est une synthèse des groupes d'informateurs clés rencontrés dans le cadre de l'évaluation.

Tableau 8 : Résumé des entrevues avec les informateurs clés

Catégorie de répondants	Nombre
Gestionnaire et personnel du portefeuille Herzberg	13
Membres externes de la communauté astronomique	6
Autres ministères et organismes fédéraux	2
Directeurs d'observatoire	4
Partenaires de l'industrie	3
Experts internationaux en astronomie	3

Total	31
--------------	-----------

Études de cas

Dans le cadre de l'évaluation, nous avons effectué quatre études de cas pour illustrer les types de projets et d'activités réalisées par le portefeuille Herzberg en soutien aux observatoires internationaux, pour mieux comprendre le rôle du Portefeuille dans la recherche astronomique et la construction d'instruments, et pour mieux estimer les répercussions des projets du Portefeuille, notamment en distinguant les éléments et les conditions qui facilitent ou nuisent à l'atteinte de ces répercussions. Les études de cas comportaient une étude des documents de projets et des entrevues avec les promoteurs des projets, dont le personnel du Portefeuille, les représentants des observatoires internationaux et les représentants des institutions postsecondaires et des entreprises participant au projet.

Pour chaque étude de cas, nous avons préparé un bref rapport synthèse des résultats.

Le Tableau 9 présente les quatre études de cas réalisées pour l'évaluation et le nombre d'informateurs rencontrés :

Tableau 9 : Sommaire des entrevues faites pour les études de cas

Étude de cas	Nombre
Récepteur dans la bande 3 du radiotélescope ALMA	5
Imageur planétaire Gemini	4
Levé archéogalactique pan-Andromède (Pandas)	4
Corrélateur WIDAR pour le très grand réseau Jansky	5
Total	18

Difficultés et limites

L'évaluation s'est butée à certaines limites et difficultés qui ont dû être prises en compte lors de l'interprétation des constats. Ces difficultés et limites sont rencontrées par la plupart des évaluations réalisées au gouvernement fédéral. Afin d'éviter toute répercussion négative sur les conclusions de l'évaluation, nous avons adopté diverses stratégies d'atténuation. Le Tableau 10 présente les limites et les difficultés, leurs répercussions potentielles et les stratégies d'atténuation utilisées pour réduire leurs effets.

Tableau 10 : Limites de l'évaluation, difficultés et stratégies d'atténuation

Limites et difficultés	Répercussion sur le projet ou les conclusions de l'évaluation	Stratégies d'atténuation
L'évaluation n'a pas pu évaluer le degré de satisfaction des utilisateurs du CCDA.	Étant donné ses ressources limitées, l'équipe d'évaluation n'a pas sondé ou rencontré les utilisateurs du CCDA pour évaluer de manière quantitative ou qualitative leur satisfaction relativement aux services.	L'équipe d'évaluation s'est fondée sur les données fournies par le Portefeuille, ainsi que sur le point de vue des informateurs clés à l'interne ou de l'externe, dont ceux des observatoires partenaires et des astronomes canadiens utilisant le CCDA.
L'équipe d'évaluation a constaté des limites à la fiabilité des indicateurs clés du rendement du CNRC (proportion des frais généraux dans les dépenses totales).	Les données sur les frais généraux du Portefeuille n'incluent pas les coûts d'administration des services fournis par les Services intégrés du CNRC (par ex., RH, SGA, DSAGI et Communications).	Les problèmes de fiabilité associés aux indicateurs clés du rendement du CNRC ont été documentés pour s'assurer que l'on interprète avec soin les constats de l'évaluation.

ANNEXE C: APERÇU DES TÉLESCOPES INTERNATIONAUX SOUTENUS PAR LE CANADA

Tableau 11 : Observatoires outre-mer soutenus par le Canada

Télescope	TCFH	TJCM	Gemini	ALMA	TMT
Lieu	Sommet du Mauna Kea (Hawaï)	Sommet du Mauna Kea (Hawaï)	(G. nord) Sommet du Mauna Kea (Hawaï) (G. sud) Cerro Pachón (Chili)	Plateau Chajnantor, désert de l'Atacama, Chili	Sommet du Mauna Kea, Hawaï (emplacement prévu, construction non terminée)
Type — Spécialisation	Optique, infrarouge (3,6 m)	Sous-millimétrique (15 mètres)	Optique, infrarouge (8 mètres, jumeaux)	Millimétrique et sous-millimétrique	Optique (de l'ultraviolet proche à l'infrarouge moyen, 30 mètres)
Début de l'accord de financement :	1974	1989	1993	2008	2015
Début de l'exploitation	1979	1987	2000 Nord et 2001 Sud	2013	Pas encore construit
Part du Canada	42,5 %	0 % (auparavant : 25 %)	19,88 % ¹⁰	2,8 % (7,25 % de la part nord-américaine de 37,5 %)	À déterminer : estimée à 15 %

¹⁰ Cette proportion est la part actuelle du Canada à compter du 1er janvier 2016. Il convient de noter que les actions des partenaires de Gemini ont changé au cours de la période de l'évaluation.

Évaluation du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique

Télescope	TCFH	TJCM	Gemini	ALMA	TMT
Partenaires	France (42,5 %) et l'état d'Hawaï (15 %)	Ne s'applique plus	États-Unis : 69,84 % Canada : 19,88 % Brésil : 6,96 % Argentine : 3,32 %	Europe (37,5 %) Amérique du Nord (37,5 %) Asie de l'Est (25 %) En collaboration avec la République du Chili.	États-Unis : 25 % Japon : 20 % Chine : 10 % Inde : 10 % U. d'Hawaï : 7,5 % 15 % non attribués actuellement et disponibles pour d'autres partenaires
Organisme exploitant	La société du TCFH (organisme à but non lucratif)	Actuellement l'observatoire de l'Asie de l'EST (EAO). Exploité auparavant par le Science and Technology Facilities Council du Royaume-Uni.	La National Science Foundation (NSF) des États-Unis. Toutefois, l'Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) gère l'organisation grâce à un contrat avec la NSF.	L'observatoire conjoint ALMA assume la direction et la gestion unifiées pour la construction, la mise en service et l'exploitation de l'ALMA.	Observatoire international TMT

Évaluation du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique

Télescope	TCFH	TJCM	Gemini	ALMA	TMT
Durée de l'entente	L'accord actuel est entré en vigueur le 1 ^{er} février 2015 et le restera jusqu'en janvier 2019. Bien qu'il n'y ait pas de date fixe d'abrogation, les règlements prévoient une dissolution.	Le Canada s'est retiré en septembre 2014.	L'accord actuel est entré en vigueur le 1 ^{er} janvier 2016 et le restera jusqu'au 31 décembre 2021. La fin de l'accord précédent était prévue pour le 31 décembre 2015.	Signé par la NSF, les National Institutes of Natural Sciences du Japon (NINS) et l'Observatoire austral européen (ESO), l'accord trilatéral ALMA n'expire pas avant le 31 déc.2021. Le CNRC et la NSF ont signé un accord de contributions tenant compte des engagements canadiens du protocole d'entente CNRC-NSF de 2003. Les conditions actuelles de l'accord de contribution se poursuivent jusqu'au 31 décembre 2010, avec l'avis du CNRC de poursuivre ou d'interrompre les contributions qui sera donné à la NSF au 31 décembre 2019.	À déterminer

Évaluation du portefeuille CNRC Herzberg, Astronomie et astrophysique

Télescope	TCFH	TJCM	Gemini	ALMA	TMT
Budget de fonctionnement annuel	<p>Le budget total du TCFH en 2014 était d'environ 7,2 millions et se ventilait comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • personnel : 4,9 M\$ • installations de soutien et activités : 620 485 \$ • Installation de l'observatoire et exploitation : 618 684 \$ • Frais généraux : 437 771 \$ • Transfert à la réserve : 390 000 \$ • Recherche : 81 215 \$ • Instrumentation : 79 634 \$ • Vulgarisation : 55 516 \$ 	Non disponible	<p>En 2015, le budget total de Gemini était d'environ 33 5 millions et se ventilait comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Activités et entretien : 31,3 millions de dollars • Fonds de construction d'instruments : 2,2 millions de dollars • Fonds pour le développement des installations : 46 564 \$ 	<p>(Dollars américains)</p> <p>Total en 2015 : 69,2 millions de dollars</p> <p>Activités au Chili (observatoire conjoint ALMA) : 39,3 millions de dollars</p> <p>La part nord-américaine des deux totaux ci-dessus est 37,5 %</p> <p>Dépenses hors site (Amérique du Nord) : 10,9 millions de dollars</p>	Sans objet
Nombre total d'employés	~ 44	Non disponible	~ 165	Non disponible	Sans objet

Remarque : le SKA n'est pas inclus dans le tableau, car le projet en est à ses étapes initiales et que peu de données sont disponibles.

ANNEXE D: CADRE D'ÉVALUATION

Question d'évaluation	Examen de la documentation	Examen des données	Entrevues avec les informateurs clés	Études de cas	Enquête auprès des utilisateurs de télescopes
1. Dans quelle mesure le portefeuille Herzberg est-il aligné avec les besoins actuels des chercheurs canadiens en astronomie?	✓	✓	✓	✓	✓
2. Dans quelle mesure le modèle actuel d'administration et d'exploitation des télescopes du Canada satisfait-il aux besoins de la communauté astronomique canadienne? 2.1 Existe-t-il d'autres modèles qui conviendraient mieux aux besoins de la communauté astronomique canadienne? 2.2 Quelles sont les conditions nécessaires pour qu'un tel autre modèle satisfasse aux obligations juridiques, réglementaires et opérationnelles du Canada?	✓		✓		
3. Dans quelle mesure le portefeuille Herzberg est-il aligné avec les priorités fédérales et les objectifs stratégiques du CNRC? 3.1 Quelles ont été les répercussions de la transition du CNRC vers un modèle d'organisation de recherche et technologie sur les activités et les priorités stratégiques du Portefeuille?	✓	✓	✓		
4. Dans quelle mesure les activités et les activités stratégiques du portefeuille Herzberg correspondent-elles aux rôles et aux responsabilités du gouvernement fédéral?	✓		✓		
5. Dans quelle mesure, le portefeuille Herzberg a-t-il réussi à assurer un accès des astronomes canadiens aux télescopes nationaux et internationaux et aux produits de données scientifiques (le CCDA)?	✓	✓	✓		
6. Quelles ont été les répercussions scientifiques des télescopes nationaux et internationaux exploités et	✓	✓	✓	✓	

Question d'évaluation	Examen de la documentation	Examen des données	Entrevues avec les informateurs clés	Études de cas	Enquête auprès des utilisateurs de télescopes
administrés par le portefeuille Herzberg d'astronomie et d'astrophysique?					
7. Quelles ont été les contributions du portefeuille Herzberg à la création de nouveaux instruments et technologies, en soutien aux télescopes actuels et futurs du Canada? 7.1 Quelles ont été les répercussions sur l'industrie du développement de nouveaux instruments et technologies par le Portefeuille?	✓	✓	✓	✓	✓
8. Dans quelle mesure et de quelles façons, le portefeuille Herzberg a-t-il soutenu les universités canadiennes relativement à la formation des étudiants et des chercheurs postdoctoraux?	✓	✓	✓		✓
9. Dans quelle mesure, le portefeuille Herzberg a-t-il contribué au renforcement de la position canadienne parmi les chefs de file mondiaux en astronomie?	✓		✓	✓	✓
10. Jusqu'à quel point le portefeuille Herzberg est-il administré de façon économique et efficiente? 10.1 Quels facteurs ont-ils facilité ou gêné la capacité du portefeuille Herzberg de gérer ses ressources d'une manière économique et efficiente?	✓	✓	✓	✓	✓

ANNEXE E : BIBLIOGRAPHIE

- Bohlender D. A. et Monin D. (2013). The Dominion Astrophysical Observatory Magnetic Field Survey (DMFS). dans *IAU Symposium* (Vol. 302, p. 288–289).
<https://doi.org/10.1017/S1743921314002300>
- Bureau du vérificateur général du Canada (BVG). (2015). *Services partagés en technologies de l'information* (Rapport no 4 de l'automne 2015). Consulté à l'adresse : http://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_oag_201602_04_f_41061.html
- Bureau du premier ministre. (2015). *Lettre de mandat de la ministre des Sciences*. Consulté à l'adresse : <http://pm.gc.ca/fra/lettre-de-mandat-de-la-ministre-des-sciences>
- CANARIE. (2013). *CANARIE élargit le réseau 100G de recherche et de l'éducation avec Ciena*. Consulté à l'adresse : <https://www.canarie.ca/fr/canarie-elargit-le-reseau-100g-de-recherche-et-de-leducation-avec-ciena/>
- CANARIE. (2014). *Une plateforme de recherche créée par CANFAR aide les chercheurs à découvrir les voisins de Pluton*. Consulté à l'adresse : <https://www.canarie.ca/fr/blogue-de-logiciels-de-recherche-une-plateforme-de-recherche-creee-par-canfar-aide-les-chercheurs-a-decouvrir-les-voisins-de-pluton/>
- Centre canadien de données astronomiques (CCDA). (2016a). *MegaPipe : Supporting the TCFH Large (and Largish) programs*. Consulté à l'adresse : <http://www.cfht.hawaii.edu/en/news/UM2016/presentations/Session2-SGwyn.pdf>
- Centre canadien de données astronomiques (CCDA). (2016b). *The MegaPipe image stacking pipeline*. Consulté à l'adresse : <http://www.cadc-ccda.hia-ihc.nrc-cnrc.gc.ca/en/megapipe/docs/intro.html>
- Conseil national de recherches du Canada (NRC) Documents stratégiques, de planification et commerciaux (2011 à 2016).
- Crabtree D. (2008). *Scientific productivity and impact of large telescopes*. Consulté à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/44089844_Scientific_productivity_and_impact_of_large_telescopes_-_art_no_70161A
- Crabtree D., et Zhang X. (s.d.). *Gemini's Science Productivity and Impact*. Consulté à l'adresse : http://www.gemini.edu/science/meetings/fsg15/posters/gsm15_poster_crabtree.pdf
- Doyletech Corporation. (2014). *Astronomy Technologies Study Final Report*.
- Empire Industries Ltd. (Empire). (2015). *Federal Government announces \$70 million award to Dynamic Structures for supply of Thirty Meter Telescope Enclosure*. Consulté à l'adresse : <http://www.empind.com/news/federal-government-announces-70-million-award-to-dynamic-structures-for-supply-of-thirty-meter-telescope-enclosure>
- Empire Industries Ltd. (Empire). (s.d.). *Thirty Meter Telescope (TMT)*. Consulté à l'adresse : <http://empind.com/empire-companies/dynamic-structures/>

Gemini Observatory. (2011). *Two Record-Breaking Black Holes Found Hiding Nearby*. Consulté à l'adresse : <https://www.gemini.edu/node/11703>

Gemini Observatory. (2014). *Partner shares*. Consulté à l'adresse : <https://www.gemini.edu/sciops/observing-gemini/partner-subscription/partner-shares>

Gemini Observatory. (2015). *2015 Annual Progress Report and 2016 Program Plan of the Gemini Observatory*. Consulté à l'adresse : https://www.gemini.edu/files/governance/annual_reports/annualreport2015_closeout.pdf

Gouvernement du Canada. (2015). *Le PM annonce un soutien important pour le Télescope de trente mètres*. Consulté à l'adresse : http://nouvelles.gc.ca/web/article-fr.do?nid=958999&_ga=1.154284664.1999341430.1474297313

Hickling Arthurs Low (HAL). (2011). *Astronomy in Canada*.

Industrie Canada. (2014). *Un moment à saisir pour le Canada : Aller de l'avant dans le domaine des sciences, de la technologie et de l'innovation*. Consulté à l'adresse : [https://www.ic.gc.ca/eic/site/icgc.nsf/vwapj/Moment_saisir_rapport_ST-I-2014-fra.pdf/\\$file/Moment_saisir_rapport_ST-I-2014-fra.pdf](https://www.ic.gc.ca/eic/site/icgc.nsf/vwapj/Moment_saisir_rapport_ST-I-2014-fra.pdf/$file/Moment_saisir_rapport_ST-I-2014-fra.pdf)

Innovation, Science and Economic Development Canada (ISED). (2015). *Creating Jobs and Supporting Families in the Tri-Cities*. Consulté à l'adresse : <http://news.gc.ca/web/article-en.do?nid=994609>

Justice Canada (2009). *Loi du Conseil national de recherches*.

Monin D., Bohlender D., Hardy T., Saddlemyer L., et Fletcher M. (2012). *An Inexpensive Liquid Crystal Spectropolarimeter for the Dominion Astrophysical Observatory Plaskett Telescope*. Consulté à l'adresse : <https://arxiv.org/pdf/1203.0278.pdf>

Monin D., Saddlemyer L., et Bohlender D. (2014). *Robotic Operation of the DAO 1.2-m Telescope and McKellar Spectrograph*. In *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica : Serie de Conferencias* (Vol. 45, p. 69–70). Consulté à l'adresse : <http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/eng/view/accepted/?id=18eff6f3-f5c1-48fe-aec8-bf32f3fe3e3c>

National Radio Astronomy Observatory (NRAO). (2014). *Birth of Planets Revealed in Astonishing Detail in ALMA's 'Best Image Ever'*. Consulté à l'adresse : <https://public.nrao.edu/static/pr/planet-formation-alma.html>

National Science Foundation (NSF). (2011). *NSF Teleconference for Reporters on Unprecedented Black Hole Discovery in Nature*. Consulté à l'adresse : http://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?org=NSF&cntn_id=122472&preview=false

Observatoire austral européen (ESO). (2014). *Revolutionary ALMA Image Reveals Planetary Genesis*. Consulté à l'adresse : <http://www.eso.org/public/news/eso1436/>

Ressources naturelles Canada (RNC). (2015). *Introduction au Programme Radio Solaire*. Consulté à l'adresse : <http://www.spaceweather.gc.ca/solarflux/sx-1-fr.php>

Société canadienne d'astronomie (CASCA). (2010). *Unveiling the Cosmos : A Vision for Canadian Astronomy*. Consulté à l'adresse : http://www.casca.ca/lrp2010/11093_AstronomyLRP_V16web.pdf

- Société canadienne d'astronomie (CASCA). (2012). *Astronomy and Astrophysics Research Computing Needs : Present and Future*.
- Société canadienne d'astronomie (CASCA). (2014a). *An MTR Overview of Canadian Submillimetre/millimetre Facilities*. Consulté à l'adresse : http://casca.ca/wp-content/uploads/2014/09/SUBMM_WP_MTR.pdf
- Société canadienne d'astronomie (CASCA). (2014b). *MTR Update on Square Kilometre Array*. Consulté à l'adresse : http://casca.ca/wp-content/uploads/2014/09/SKA_WP_MTR.pdf
- Société canadienne d'astronomie (CASCA). (2014c). *The Thirty Meter Telescope Canadian Project Digest*. Consulté à l'adresse : http://casca.ca/wp-content/uploads/2014/07/TMT_digest_2014.pdf
- Société canadienne d'astronomie (CASCA). (2016). *Unveiling the Cosmos : Canadian Astronomy 2016-2020 — Report of the Mid-Term Review 2015 Panel*. Consulté à l'adresse : <http://casca.ca/wp-content/uploads/2016/03/MTR2016nocover.pdf>
- Télescope Canada-France-Hawaï (TCFH). (2013). *2013 Rapport annuel du TCFH*.
- Télescope Canada-France-Hawaï (TCFH). (2015). *TCFH data helps New Horizons navigate toward Pluto*. Consulté à l'adresse <http://cfht.hawaii.edu/en/news/NewHorizons/>
- Télescope Canada-France-Hawaï (TCFH). (2016a). Réunion 2016 des utilisateurs du télescope Canada-France-Hawaï. Consulté à l'adresse : http://www.cfht.hawaii.edu/en/news/UM2016/um2016_program_final.pdf
- Télescope Canada-France-Hawaï (TCFH). (2016b). *New Distant Dwarf Planet Beyond Neptune*. Consulté à l'adresse : <http://cfht.hawaii.edu/en/news/NewDwarfPlanet/>
- Télescope Canada-France-Hawaï (TCFH). (2016c). *Science impact of the Canada-France-Hawaii Telescope*. Consulté à l'adresse : <http://www.cfht.hawaii.edu/en/news/UM2016/presentations/Session7-DDevost.pdf>
- Télescope Canada-France-Hawaï (TCFH). (s.d.). *Manuel de l'observatoire du TCFH*. Consulté à l'adresse : http://www.cfht.hawaii.edu/Instruments/ObservatoryManual/TCFH_ObservatoryManual_%20Sec_1%20.html
- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC). (2014a). *NFIRAOS PHA/Séparateur de faisceaux*. Consulté à l'adresse : <https://achatsetventes.gc.ca/donnees-sur-lapprovisionnement/appels-d-offres/PW-VIC-250-6557>
- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC). (2014b). *Miroir de sélection d'instruments*. Consulté à l'adresse : <https://achatsetventes.gc.ca/donnees-sur-lapprovisionnement/appels-d-offres/PW-VIC-250-6582>
- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC). (2015a). *NFIRAOS - Simulateur de sources NSS*. Consulté à l'adresse : <https://achatsetventes.gc.ca/donnees-sur-lapprovisionnement/appels-d-offres/PW-VIC-250-6734>

- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC). (2015b). *Turbulence Generator — TMT NFIRAOS*. Consulté à l'adresse : <https://achatsetventes.gc.ca/donnees-sur-l-approvisionnement/appels-d-offres/PW-VIC-250-6732>
- Science & Technology Facilities Council. (2014). *The James Clerk Maxwell Telescope (TJCM) Prospectus*. Consulté à l'adresse : <http://www.stfc.ac.uk/files/TJCMprospectuspdf/>
- Science-Metrix. (2016). *Bibliometric Analysis of NRC's performance in Emerging Technologies*.
- Square Kilometre Array Organization. (2016). *Signal Transport and Networks*. Consulté à l'adresse : <https://www.skatelescope.org/signal-processing/>
- Université de Montréal. (2015). *Des astronomes photographient une exoplanète géante gazeuse plus jeune que Jupiter*. Consulté à l'adresse : <http://www.exoplanetes.umontreal.ca/?p=2575>
- University of Victoria. (2012). *The NGVS : The Data*. Consulté à l'adresse : http://astrowww.phys.uvic.ca/~lff/NGVS/The_Data.html