

L'ASTRONOMIE ET L'ASTROPHYSIQUE CANADIENNES AU XXI<sup>E</sup> SIÈCLE


## Révision à mi-parcours

Rapport présenté à la Société canadienne d'astronomie



# L'ORIGINE DES STRUCTURES DANS L'UNIVERS





*Dans toute l'histoire du temps, sur toutes les planètes  
De toutes les galaxies de l'espace,  
Quelles civilisations sont nées,  
Ont regardé dans la nuit,  
Vu ce que nous voyons,  
Et posé les mêmes questions que nous ?*

Universe (Office national du film du Canada)

# Table des matières

Préface .....	2
1. Introduction et résumé .....	4
2. Histoire et financement du Plan à long terme .....	17
3. Développements scientifiques .....	20
4. Révision à mi-parcours .....	23
4.1 Cadre de référence .....	23
4.2 Mise en œuvre de la révision à mi-parcours .....	24
4.3 Observatoires mondiaux .....	25
A. Première génération (2000-2010) .....	25
(a) Le Grand réseau d'astronomie millimétrique d'Atacama (ALMA) .....	25
(b) Le Télescope spatial James Webb (TSJW) et le Programme canadien d'astronomie spatiale .....	30
B. Seconde génération (2010-2020) .....	34
(a) Square Kilometer Array (SKA) .....	35
(b) Très grand télescope optique (VLOT) .....	38
4.4 Observatoires nationaux et internationaux .....	42
A. Observatoires spatiaux .....	42
B. Observatoires internationaux au sol .....	45
(a) Gemini .....	45
(b) Télescope Canada-France-Hawaii (TCFH) .....	49
(c) Télescope James Clerk Maxwell (TJCM) .....	50
C. Observatoires nationaux au sol .....	52
(a) Observatoire fédéral de radioastronomie (OFR) .....	52
(b) Observatoire fédéral d'astrophysique (OFA) .....	53
4.5 Ressources humaines .....	53
4.6 Informatique .....	57
A. Le Centre canadien de données astronomiques (CCDA) et l'analyse de données .....	58
B. Calcul haute performance (CHP) .....	60
4.7 Vulgarisation et sensibilisation du public .....	63
4.8 Budget .....	66
5. Le financement et la gestion de grandes installations astronomiques .....	73
6. Retombées économiques .....	75
7. Acronymes et abréviations utilisés dans ce document .....	78

L'ORIGINE DES STRUCTURES DANS L'UNIVERS

RAPPORT PRÉSENTÉ À LA SOCIÉTÉ CANADIENNE D'ASTRONOMIE  
RÉVISION À MI-PARCOURS



# Préface

Le Plan à long terme (PLT) pour l'astronomie canadienne est un plan de développement cohérent visant à assurer le développement de l'astronomie au Canada pour la première décennie du XXI<sup>e</sup> siècle. Une révision à mi-parcours (RMP) a été recommandée par le Comité de planification à long terme (CPLT) et a pour but de vérifier que le PLT connaît une progression qui lui permettra d'atteindre ses objectifs. Le présent document est le rapport du Comité de révision à mi-parcours (CRMP).

Le PLT est issu de discussions tenues en 1998 au Conseil consultatif de l'Institut Herzberg d'astrophysique du Conseil national de recherches du Canada (CNRC-IHA). L'idée du PLT recevant un accueil favorable, le projet a obtenu le support financier du CNRC-IHA et du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG). La Société canadienne d'astronomie (CASCA) a revu le mandat du PLT et, avec l'aide du Directeur général du CNRC-IHA, a procédé à la sélection de son président, qui à son tour a participé à la sélection des membres du Comité. En bout de ligne, la CASCA a assumé la majeure partie de la distribution et de la promotion du rapport.

Le CRMP a été mis sur pied par la CASCA et, comme le CPLT, a été financé par le CNRC-IHA et le CRSNG. Le CRMP aimerait leur exprimer sa gratitude et sa reconnaissance pour cette aide financière. Ce rapport a aussi grandement bénéficié de consultations à l'Agence spatiale canadienne (ASC) et à l'Association canadienne des universités pour la recherche en astronomie (ACURA). Le CRMP aimerait remercier les membres de la communauté astronomique ayant apporté leur aide et sans lesquels ce rapport n'aurait pu voir le jour, notamment les nombreux chercheurs principaux et co-chercheurs ayant soumis des rapports détaillés de l'avancement de leurs travaux. Nous remercions le personnel du CNRC-IHA pour la tenue de la réunion du CRMP regroupant les chercheurs et représentants des organismes mentionnés ci-haut en avril 2004. Nous remercions également les membres du personnel des bureaux de la CASCA qui ont supervisé la publication du contenu de la

RMP sur le site Internet de la CASCA et ont mis sur pied le forum Internet de la CASCA invitant les membres de la communauté astronomique à échanger leurs idées sur le sujet. Nous exprimons notre gratitude à tous les membres de la CASCA qui ont participé avec enthousiasme à ce forum, de même qu'à la réunion générale annuelle de la CASCA qui s'est tenue à Winnipeg en juin 2004. Les nombreux commentaires et opinions exprimés lors de ces événements ont eu une influence importante sur le contenu de ce rapport. Nous aimerions aussi souligner le travail du groupe de réviseurs sélectionnés par la CASCA, qui ont fait une lecture critique des dernières versions du rapport et ont fourni leurs commentaires avant sa mise sous presse en novembre 2004.

Le CRMP remercie le Dr Gregory Fahlman, Directeur général du CNRC-IHA, pour sa lecture critique de plusieurs versions préliminaires de la RMP et pour ses conseils, tant sur son contenu que sur sa forme, qui ont grandement contribué à sa rigueur. Le CRMP remercie également le Dr James Hesser, président de la CASCA, pour sa lecture des dernières versions du rapport, de même que pour son aide avisée et ses encouragements; il a permis au CRMP de produire un document plus informatif.

Le Président du Comité aimerait offrir des remerciements spéciaux au Dr Ralph Pudritz, Président du CPLT initial, pour son travail exceptionnel comme consultant pour le Comité. La Société canadienne d'astronomie remercie Mme Anik Daigle et le Prof. Gilles Joncas, de l'Université Laval, pour la traduction française de ce document. Finalement, le Président du CRMP aimerait exprimer sa gratitude aux membres du CRMP, qui ont offert leur expertise avec implication et dans l'harmonie. Ces membres incluent Hugh Couchman (McMaster University), Gretchen Harris (University of Waterloo, CASCA ex-officio), Victoria Kaspi (Université McGill), George Mitchell (Saint Mary's University) et Harvey Richer (University of British Columbia).

**E. R. Seaquist**

Président

Comité pour la révision à mi-parcours

# Introduction et résumé

Le PLT se veut une vision moderne d'une astronomie couvrant une grande étendue spectrale, et exigeant donc une planification minutieuse pour permettre au Canada de s'impliquer au sein d'un large éventail de projets s'attaquant à certains des problèmes les plus fondamentaux de la science moderne. Le PLT a aussi montré que les investissements dans l'astronomie canadienne ont des retombées socio-économiques. Une version non-officielle du PLT est parue (en anglais seulement) en novembre 1999; sa version finale (dans les deux langues) a été présentée à la réunion générale de la CASCA à Vancouver en mai 2000. La plupart des activités des cinq premières années du plan ont obtenu une aide financière. Cette réussite est attribuable, d'une part, à l'ambition du PLT, et d'autre part à l'énergie déployée par la communauté pour le promouvoir. À cet égard, la Coalition canadienne pour la promotion de l'astronomie (CCPA) – une association de la CASCA, des universités et de l'industrie – a joué un rôle déterminant, en portant le PLT à l'attention du gouvernement fédéral de façon particulièrement convaincante.

Le temps est venu de prendre connaissance de l'état d'avancement du PLT et de faire des recommandations pour les cinq années à venir afin de s'assurer de l'atteinte des objectifs du Plan. Le Comité de direction de la CASCA a créé le CRMP en février 2004. Son cadre de référence est décrit à la section 4.1.

Selon le PLT, l'astronomie connaît actuellement un âge d'or sans précédent, porté par les avancées technologiques et la performance des nouveaux outils de recherche. Au cours des dernières années, nous avons vu se confirmer les estimations du PLT, et avons même été témoins d'une accélération dans les développements décrits dans le plan. La construction du Grand réseau d'antennes millimétriques d'Atacama (Atacama Large Millimeter Array – ALMA), qui est la priorité du PLT du côté des télescopes terrestres et où le Canada joue un important rôle technique, progresse selon le calendrier établi.

La priorité du Canada dans le domaine de l'astronomie spatiale est le télescope spatial James-Webb (TSJW), anciennement connu sous le nom de « Télescope spatial de prochaine génération » (Next Generation Space Telescope – NGST).

Depuis 1999, l'ASC s'est assurée que les industries et les scientifiques canadiens joueraient un rôle majeur dans le développement de ce projet captivant et unique, ainsi que dans d'autres projets internationaux de première ligne tels la mission Herchel/Planck. ALMA et le TSJW constituent un réel progrès pour l'instauration de la première génération de télescopes mondiaux tels que décrits dans le PLT. Dans le même temps, les projets pour la seconde décennie du XXI<sup>e</sup> siècle mentionnés dans le PLT se précisent de plus en plus.

La mobilisation à l'échelle internationale pour la construction de grands télescopes optiques et infrarouges s'organise très vite, si bien que le Canada a déjà pu saisir l'opportunité de participer au projet international pour la construction du Télescope de trente mètres (Thirty Meter Telescope – TMT), le plus grand télescope optique/infrarouge du monde. Il s'agit de la réalisation de l'une des prédictions du PLT en ce qui a trait aux observatoires internationaux de seconde génération, soit le Très grand télescope optique (Very Large Optical Telescope – VLOT). La Fondation canadienne pour l'innovation (FCI) a procuré le financement initial pour la participation canadienne aux études de conception détaillées pour le TMT.

Pendant ce temps, le projet du Square Kilometer Array (SKA) progresse aussi. Ce futur réseau géant de radiotélescopes, considéré par le PLT d'importance égale à celle du VLOT en tant qu'observatoire international de seconde génération, en est à l'étape de la sélection finale de la technologie pour la construction des antennes. En proposant des concepts de premier rang pour le SKA, les astronomes canadiens jouent un rôle prépondérant dans le processus.

En plus des ressources nécessaires à la réalisation de ces projets, des ressources informatiques de haute performance sont requises. En effet, l'astrophysique numérique est un domaine nouveau et est en évolution rapide : les théoriciens de l'astrophysique ont maintenant accès à des ordinateurs performants permettant de simuler le comportement de systèmes cosmiques, et ainsi d'améliorer notre compréhension de l'univers. L'expertise de haut niveau que détient la communauté astronomique canadienne doit s'appuyer sur des ressources informatiques de pointe selon les plus hauts standards mondiaux.

Les initiatives mentionnées ci-haut étaient présentées par le PLT comme un ensemble d'outils complémentaires jouant tous un rôle essentiel pour répondre à différentes facettes de certaines des questions les plus impératives de l'astronomie. La RMP vient appuyer ce point de vue. Les projets impliquant une participation canadienne couvrent un grand intervalle de fréquences, des ondes radio longues de près de trois mètres aux courtes longueurs d'ondes ultraviolettes de près de 0,3 microns. Cet intervalle représente un facteur 10 millions en longueur d'onde, soit essentiellement le spectre électromagnétique complet, excepté les rayons X et les rayons gamma. L'étendue et l'exhaustivité de cette couverture spectrale, de même que la haute sensibilité et la haute résolution générales des instruments proposés, amène à considérer tous ces projets comme des parties intégrantes d'un plan complet pour répondre de façon approfondie aux plus importantes questions sur le cosmos.

La communauté astronomique canadienne a déjà atteint plusieurs des objectifs établis pour les cinq premières années du PLT. Une grande part de ce succès est attribuable à la place importante qu'occupe le Canada dans le domaine de l'astronomie à l'échelle mondiale: le PLT le démontre de façon éloquente, de même que les citations de la base de données Thomson ISI. Le nombre de citations de publications canadiennes dans la catégorie des sciences spatiales, catégorie dominée par l'astronomie et l'astrophysique, surpasse la moyenne mondiale de 39%. Le Canada occupe le troisième rang de cette catégorie. De plus, huit des 159 chercheurs canadiens ayant un haut taux de citation, mentionnés dans la base de données ISI, sont des astronomes. Si on tient compte de la proportion d'astronomes dans l'ensemble de la communauté scientifique canadienne, on constate que l'astronomie canadienne est nettement sur-représentée dans cette liste de « lauréats des citations ». Pour que le Canada conserve une position prééminente dans l'astronomie mondiale et pour favoriser l'expertise canadienne dans les technologies reliées à l'astronomie, les astronomes canadiens devront avoir accès aux outils haute technologie recommandés dans le PLT et être fortement impliqués dans leur développement.

En plus du développement de l'instrumentation appropriée à l'astronomie canadienne, le PLT et la RMP accordent une importance vitale à la diffusion des réalisations de l'astronomie canadienne auprès du grand public et des étudiants. L'astronomie bénéficie d'une popularité toujours grandissante auprès du grand public. Sa curiosité se doit d'être satisfaite par une accessibilité aux résultats fascinants obtenus grâce aux nouvelles installations performantes décrites dans le PLT. Plus encore, les Canadiens souhaitent voir et écouter leurs compatriotes astronomes leur faire connaître les découvertes faites grâce aux installations astronomiques canadiennes.

Pour finir, bien que beaucoup des projets mentionnés dans ce rapport soient de grande envergure, il importe que les chercheurs individuels et les petits groupes de recherche continuent de s'impliquer dans des projets d'envergure plus modeste. Ces projets contribuent à une grande part de la recherche fondamentale en astrophysique et sont souvent nécessaires aux recherches entreprises dans les observatoires mondiaux. De plus, les initiatives d'envergure moyenne peuvent mener à des percées scientifiques et technologiques, améliorant et accélérant ainsi les plus grandes initiatives. Le CRMP encourage les initiatives de moyenne envergure et reconnaît aussi leurs besoins d'outils et de ressources.

### Résumé

Le CRMP a examiné l'état de la réalisation du PLT et a produit un ensemble de recommandations, résumées ci-dessous. Les recommandations pour chacun des projets sont accompagnées d'un bref résumé de l'état d'avancement du projet en question et d'une justification des recommandations. Les projets et les recommandations associées sont présentés sous une forme analogue à celle utilisée dans le document du PLT. Les recommandations qualifiées de « fortes » doivent se voir accorder le plus haut niveau de priorité et sont particulièrement



cruciales pour la réussite du PLT. Elles concernent généralement le développement des observatoires mondiaux, de nouveaux instruments pour Gemini et l'accroissement des ressources humaines requises par le PLT. La priorité générale de la RMP est l'achèvement des contributions canadiennes aux projets de ALMA et du TSJW. La priorité en ce qui a trait à la construction d'une nouvelle installation de grande envergure est le projet du VLOT/TMT. La priorité en ce qui concerne les projets de moyenne envergure va aux études techniques préliminaires pour le VLOT/TMT et le SKA.

### **Les observatoires mondiaux: première génération (2000-2010)**

#### **(a) Grand réseau millimétrique d'Atacama (ALMA)**

ALMA est le projet prioritaire du PLT en astronomie au sol. Le projet est sur sa lancée, et le Canada y participe par le biais du Programme nord-américain en radioastronomie (North American Program in Radio Astronomy – NAPRA). Le CNRC-IHA y est responsable de la mise en service des récepteurs à 3 mm (bande 3) pour ALMA, de même que du développement d'un nouveau corrélateur à large bande, soit le processeur primaire du projet américain d'Expanded Very Large Array (EVLA). L'expertise du CNRC-IHA en radioastronomie, reconnue internationalement, correspond remarquablement bien aux besoins de ces deux projets. Une de nos recommandations concerne l'aide financière requise pour maintenir cette expertise et mener à terme nos engagements dans le cadre du projet ALMA.

**Le CRMP félicite** le CNRC-IHA, ses collègues universitaires, la Coalition pour l'astronomie canadienne et la communauté astronomique en général, pour avoir fait en sorte que la participation canadienne au projet ALMA connaisse un bon départ, et il réitère la forte recommandation du CPLT à l'effet que ALMA devrait constituer le projet prioritaire de cette décennie pour l'astronomie au sol.

**Le CRMP recommande fortement** le financement de la mise en service des récepteurs à 3 mm (récepteurs en bande 3), de même que l'allocation de fonds additionnels pour une participation canadienne aux coûts d'opération de ALMA. Le respect de ces engagements est prioritaire en regard de tous les projets d'astronomie au sol pris en compte par la RMP.

**Le CRMP félicite** le CNRC-IHA pour son leadership dans le développement des récepteurs à 3 mm de ALMA et du corrélateur pour le EVLA. Ces projets soulignent la force montante du CNRC-IHA en technologie radioastronomique, ce qui rejoint une recommandation du PLT, et **le CRMP recommande** que cette expertise soit maintenue de façon à assurer au Canada un rôle important au sein des initiatives futures dans le domaine de la radioastronomie.

#### **(b) Télescope spatial James Webb (TSJW) et le Programme canadien d'astronomie spatiale**

Le TSJW est la priorité de la décennie au Canada en ce qui concerne les pro-

jets de grande envergure en astronomie spatiale. Le projet est dirigé par l'ASC et est l'objet d'une importante implication de l'industrie aéronautique canadienne. Le Canada a assuré une bonne part de participation à ce projet tant à la communauté scientifique canadienne qu'à son industrie. Le TSJW constitue l'un des développements les plus fascinants et les plus significatifs de l'histoire de l'astronomie canadienne. L'implication grandissante de l'ASC dans la recherche astronomique canadienne encourage l'établissement de liens toujours plus serrés entre l'ASC et les astronomes canadiens.

**Le CRMP réitère** la forte recommandation du CPLT à l'effet que le TSJW constitue le projet prioritaire du Canada pour la participation à un grand observatoire spatial au cours de cette décennie. **Le CRMP félicite** l'ASC pour avoir assuré une place au Canada dans ce projet unique et captivant, et **félicite** le CNRC-IHA pour avoir permis au Canada de s'y impliquer par une contribution au développement d'instrumentation qui est supérieure à sa quote-part.

**Le CRMP recommande** à la CASCA de procéder à une étude des besoins de l'astronomie canadienne dans le domaine de l'astronomie spatiale, en prévision du prochain Plan à long terme.

**Le CRMP félicite** l'ASC d'avoir engagé des astronomes avec un mandat comprenant la mise sur pied d'un programme de recherches actives à l'ASC. **Le CRMP recommande** de plus que les liens entre l'ASC et la communauté astronomique soient renforcés par la modification de la composition du Comité mixte pour l'astronomie spatiale (Joint Committee on Space Astronomy – JCSA), de façon à ce que la communauté astronomique y soit mieux représentée.

### **Les observatoires mondiaux: seconde génération (2010-2020)**

#### **(a) Square Kilometer Array (SKA)**

Les recherches internationales en cours pour le SKA mèneront à la construction du plus grand radiotélescope centimétrique jamais réalisé, ce qui aura des répercussions transformationnelles dans le domaine de la cosmologie, entre autres. La principale contribution canadienne au projet est le développement de l'un des concepts de première ligne pour les antennes du SKA, soit le Grand réflecteur adaptatif canadien (GRAC). Les études techniques pour le GRAC (appelées études de phase B) sont en cours, mais leur poursuite nécessitera un appui financier. En raison de son expertise en radioastronomie, le Canada aura une influence prépondérante au sein du SKA, et ce peu importe le concept qui sera choisi pour la construction des antennes. À mesure que le SKA devient un projet international à part entière, le Canada se doit de considérer plusieurs façons de s'y impliquer d'un point de vue technique.

**Le CRMP réitère fermement** la recommandation du CPLT à l'effet que le Canada se prépare à jouer un rôle de leader dans le projet international du SKA.

**Le CRMP recommande fortement** que les études de phase B, qui doivent mener

à une conception finale pour le GRAC, bénéficient d'un appui assurant leur réussite à temps pour la sélection de la conception finale du SKA par le consortium international du SKA. Les études de phase B devraient être considérées prioritaires en ce qui concerne les projets de moyenne envergure.

**Le CRMP recommande** que le CNRC-IHA prévoie une participation à la construction de prototypes de composantes du SKA dès que la technologie choisie aura été identifiée. Il pourrait s'agir soit d'un élément d'antenne d'après le concept du GRAC, si ce concept est sélectionné, soit d'autres composantes telles que conçues lors des études de phase B ou utilisant toute autre expertise du domaine de l'instrumentation pour la radioastronomie.

### **(b) Très grand télescope optique (VLOT)**

Les études VLOT internationales sont en cours pour la construction du plus grand télescope optique/infrarouge du monde. Ce télescope ouvrira une nouvelle voie à l'astronomie pour aborder des questions scientifiques des plus importantes. Une participation du Canada au projet du VLOT est amplement justifiée par l'expertise canadienne en conception de grands télescopes et l'instrumentation associée. Bien que le PLT ait prévu que la construction du VLOT aurait lieu en 2011-2020, certains développements rapides ont mené le Canada à devenir d'ores et déjà un partenaire important du projet du TMT. ACURA assume un rôle directeur pour la participation canadienne et collaborera en ce sens avec le CNRC-IHA. La recommandation du CRMP veut souligner un urgent besoin de financement.

**Le CRMP réitère fermement** la recommandation initiale du CPLT à l'effet que le Canada se positionne de façon à assumer un rôle directeur au sein du projet international pour le VLOT. Le CRMP préconise fortement qu'une participation au projet du TMT soit reconnue comme le moyen le plus efficace pour le Canada de s'assurer cette position.

**Le CRMP recommande fortement** que la phase de conception détaillée pour le projet du TMT reçoive le financement adéquat pour que le Canada soit en mesure de satisfaire ses obligations en tant que partenaire paritaire. Cette recommandation devrait être considérée prioritaire pour ce qui est des projets de moyenne envergure. La FCI s'est engagée de façon provisoire et conditionnelle à l'obtention de fonds de contrepartie. On prévoit que les gouvernements de l'Ontario et de la Colombie-britannique s'engageront bientôt en ce sens. Des fonds correspondants devraient aussi être alloués au besoin par le CNRC-IHA, de façon à assurer la poursuite de la réalisation de ce projet tel que planifié.

**Le CRMP recommande fortement** que la priorité du côté du soutien financier à un nouvel observatoire mondial soit accordée à l'établissement d'une participation canadienne au projet du TMT qui soit équivalente à celle des autres partenaires principaux.

## Observatoires nationaux et internationaux

### (a) Observatoires spatiaux

Le CRMP a été impressionné par le progrès accompli en vue d'une participation canadienne à la mission Herschel/Planck, de même que par la forte présence canadienne au sein des missions d'astronomie spatiale actuelles, incluant les missions MOST, FUSE, ODIN et BLAST. Ces missions sont complémentaires aux observations terrestres et permettent aux astronomes canadiens d'avoir accès aux régions du spectre électromagnétique non observables de la Terre mais qui demeurent nécessaires à leur recherche.

**Le CRMP réitère fermement** la recommandation du CPLT à l'effet que le Canada participe à la mission Herschel/Planck, et salue l'ASC pour son engagement soutenu à promouvoir la participation du Canada à cette mission et à d'autres missions spatiales très prometteuses.

### (b) Gemini

Grâce aux télescopes jumeaux de huit mètres Gemini, situés l'un à Hawaii et l'autre au Chili, et à la possibilité qu'ils offrent d'observer l'ensemble du ciel, le Canada bénéficie présentement d'outils de recherche de pointe en astronomie optique/infrarouge. Les travaux canadiens utilisant ces télescopes confirment la réputation d'excellence du Canada, tant scientifique qu'en développement d'instrumentation astronomique. Les recommandations suivantes soutiennent le plan international pour des améliorations du côté de l'instrumentation et de l'exploitation, qui permettront d'aborder de nouvelles et cruciales questions scientifiques.

**Le CRMP réitère** la recommandation du CPLT d'accorder à Gemini la priorité pour ce qui est des subventions d'exploitation et de soutien pour nos observatoires internationaux. **Le CRMP recommande** que le Canada appuie le scénario selon lequel les télescopes Gemini seraient surtout exploités en mode « file d'attente » et service.

**Le CRMP appuie fermement** la participation du Canada au développement des nouveaux instruments nécessaires pour aborder certaines questions scientifiques de premier plan et d'intérêt général.

### (c) Le Télescope Canada-France-Hawaii (TCFH)

Le TCFH, d'une ouverture de 3,6 mètres, est l'un des télescopes optiques/infrarouges les plus productifs du monde. Il le demeurera vraisemblablement pour encore plusieurs années si l'on considère les résultats fascinants obtenus à l'aide de MegaCam, sa nouvelle caméra optique à grand champ. MegaCam et WIRCam, une nouvelle caméra infrarouge à grand champ qui sera bientôt installée, composeront les instruments utilitaires principaux du TCFH.

**Le CRMP recommande** que le Canada maintienne sa participation au TCFH aussi longtemps que les résultats scientifiques obtenus grâce à ses nouveaux instruments demeureront probants. Au cours de la décennie cependant, les ressources actuellement investies dans le TCFH pourront être réaffectées, au besoin, à d'autres installations qui seraient jugées prioritaires.

#### **(d) Le Télescope James Clerk Maxwell (TJCM)**

Le TJCM est toujours le télescope submillimétrique le plus performant au monde. Les engagements du Canada envers le TJCM prendront fin en 2009. Le CRMP est d'avis que l'arrivée de deux nouvelles caméras à grand champ – HARP-B et surtout SCUBA-2 – devrait avoir un impact sur le choix de la date de fin de la participation canadienne au TJCM.

**Le CRMP réitère** la recommandation du CPLT à l'effet que l'implication canadienne au TJCM prenne fin à mesure que nos divers engagements techniques et scientifiques seront remplis et que les ressources soient réaffectées au projet ALMA. **Le CRMP recommande** également que la date de fin de l'engagement canadien envers le TJCM ne soit définitivement fixée qu'après une évaluation complète de la valeur scientifique de SCUBA-2 et l'examen des bénéfices éventuels d'une extension de quelques années de l'engagement canadien envers ce télescope.

### **Observatoires nationaux au sol**

#### **(a) L'Observatoire fédéral de radioastronomie (OFR)**

L'OFR est le site du puissant radiotélescope à synthèse d'ouverture à l'aide duquel a été mené le Relevé canadien du plan galactique (Canadian Galactic Plane Survey – CGPS), projet qui s'est révélé une grande réussite. Le CGPS nécessitera un modeste soutien additionnel du PLT dans le but de compléter le relevé pour toute la région de la Voie lactée visible de l'OFR.

**Le CRMP recommande** que le financement déjà octroyé par le CNRC pour le CGPS soit maintenu au niveau actuel jusqu'en 2007, de façon à permettre la réalisation de l'extension du relevé proposée dans le cadre du Relevé international du plan galactique.

#### **(b) L'observatoire fédéral d'astrophysique (OFA)**

L'OFA est le site de télescopes de 1,8 et 1,2 mètre d'ouverture, considérés tous deux comme des instruments canadiens historiques. Bien que fort modestes comparés aux projets prioritaires abordés par le PLT, ces télescopes sont des installations de moyenne envergure importantes, tant pour la recherche astronomique fondamentale que pour l'éducation.

**Le CRMP recommande** que soit maintenue l'aide financière octroyée par le PLT pour le rehaussement des capacités scientifiques des télescopes de l'OFA.

## Ressources humaines

Le CPLT a fortement recommandé l'embauche de nouveaux chercheurs au CNRC-IHA, la création de nouveaux programmes postdoctoraux prestigieux, le renforcement de programmes impliquant des laboratoires d'instrumentation dans les universités canadiennes et l'augmentation des subventions aux chercheurs dans les universités canadiennes. Bien que des progrès aient été observés dans certains de ces domaines, on ne saura profiter pleinement des opportunités offertes par les installations du PLT qu'en améliorant encore la situation. Étant donné le calendrier devancé pour la construction d'un VLOT et l'importance de développer des composantes prototypes pour le SKA, le CRMP croit que les recommandations du PLT en matière de ressources humaines se révèlent aujourd'hui trop modestes et qu'il sera nécessaire d'engager encore plus de chercheurs scientifiques.

**Le CRMP applaudit** la réalisation partielle des recommandations du PLT, qui s'est traduite par l'embauche de nouveau personnel au CNRC-IHA et l'annonce par l'ASC d'un nouveau programme de bourses postdoctorales en sciences de l'espace. **Le CRMP réitère vigoureusement** les recommandations du PLT concernant la construction de laboratoires universitaires d'astrophysique expérimentale, l'augmentation des subventions aux chercheurs universitaires en astronomie et l'importance d'investir dans les postes de chercheurs, dans les universités comme dans les centres gouvernementaux pour l'astronomie, de manière à bénéficier pleinement des installations du PLT. Étant donné l'augmentation prévue des besoins en personnel de recherche pour le développement du SKA et du TMT, **le CRMP recommande fortement** que le nombre de chercheurs au CNRC-IHA, de bourses Herzberg et de bourses CRSNG/ASC soit augmenté de six (tel que préconisé par le PLT) à dix. Ce nombre devrait être atteint avant l'obtention de la première lumière au TMT. Le nombre de chercheurs en astronomie, et plus spécialement dans le domaine de l'instrumentation spatiale et au sol, devrait être augmenté dans les mêmes proportions.

**Le CRMP recommande** que ACURA, organisation représentant toutes les universités canadiennes actives dans le domaine de l'astronomie, amorce des consultations avec la CASCA et le CRSNG, dans l'optique d'une transformation du programme actuel de subvention pour l'astronomie en un système d'enveloppe budgétaire. Un tel système permettrait d'allouer un financement facilitant la mise en place de nouveaux laboratoires universitaires d'astrophysique expérimentale, de même que la gestion d'un programme de bourses CRSNG/ASC tel que décrit dans la recommandation précédente.

## Informatique

### (a) Le Centre canadien de données astronomiques (CCDA) et l'analyse de données

Tel que recommandé par le PLT, le CNRC-IHA a investi massivement dans le système d'archivage implanté par le CCDA, qui comprend des outils d'extraction

et d'exploration dans l'imposante masse de données produites par les observatoires principaux. Le CCDA a d'ores et déjà atteint les buts fixés par le PLT. Le volume des données produites à travers le monde est en augmentation rapide et amène de nouveaux défis. Le temps est venu de mettre au point un plan pour améliorer l'efficacité du CCDA et s'assurer que les scientifiques canadiens posséderont les outils nécessaires à l'extraction et à l'analyse efficaces des données acquises dans le cadre du PLT et par le biais d'autres grandes installations.

**Le CRMP recommande** que le CNRC-IHA examine le rôle du Canada dans la gestion globale des données et l'apport du CCDA à ce rôle, à la lumière des nouvelles installations spatiales et au sol telles que décrites dans le PLT. Cependant, l'aide financière au CCDA devrait être maintenue de façon à préserver l'efficacité des programmes existants.

**Le CRMP recommande** que la CASCA, par l'entremise de ses sous-comités, procède à un examen des besoins de toutes les installations du PLT en ce qui a trait à l'extraction et à l'analyse des données, puis qu'elle élabore, en concertation avec le CNRC-IHA et ACURA, une stratégie cohérente pour répondre aux besoins identifiés. Cet examen devrait être préalable et alimenter l'examen par le CNRC-IHA de l'apport du CCDA au rôle du Canada dans la gestion globale des données.

### **(b) Calcul haute performance**

Le calcul haute performance (CHP) est essentiel à l'astrophysique théorique et à certains aspects du traitement de données. Les théoriciens canadiens ont présentement un besoin criant d'ordinateurs possédant une performance de calcul comptant parmi les 20 plus hautes du monde, toutes disciplines confondues. Ces ressources sont nécessaires à la simulation de phénomènes astrophysiques excessivement complexes.

**Le CRMP recommande** que la communauté du CHP mette en place dès maintenant une stratégie pour obtenir l'accès à un système informatique de niveau 1 pour l'astrophysique qui soit abordable et de première catégorie, soit un système compétitif en regard de tous les systèmes de pointe dans toutes les disciplines à travers le monde. L'objectif devrait être de satisfaire à la demande pour le prochain cycle technologique de trois ans. La stratégie doit assurer un accès satisfaisant à la demande de la communauté astrophysique théorique, et lui assurer une place de chef de file national en CHP et un leadership international de par les résultats scientifiques obtenus. La communauté devrait simultanément initier une consultation interdisciplinaire en vue d'établir un accès durable à des ressources de niveau 1 pour le CHP.

### **Vulgarisation et sensibilisation du public**

L'enthousiasme du grand public et l'intérêt de nos institutions éducationnelles pour l'astronomie continuent de se confirmer. Un nombre substantiel d'activités de vulgarisation et de sensibilisation ont été organisées par le CNRC, l'ASC et

la CASCA au cours des dernières années. Le CRMP a surtout voulu souligner la recommandation du PLT à l'effet que 1,5% du budget de tout projet soit alloué à des activités connexes de vulgarisation, dont une partie devrait être consacrée au développement et à l'entretien d'un site Web visant à publiciser l'astronomie canadienne.

**Le CRMP félicite** la CASCA et le CNRC-IHA pour le programme de vulgarisation enthousiaste qu'ils ont mené avec succès et recommande que ce programme soit maintenu et développé, en accord avec ce qui était planifié.

**Le CRMP réitère** le besoin d'allouer 1,5% du budget de tout télescope ou projet de CHP à des activités connexes de vulgarisation et de sensibilisation du public, et **recommande** que la priorité en matière de financement soit accordée au développement d'un site Web documenté et visuellement impressionnant, tel que recommandé par le CPLT. **Le CRMP recommande** de plus que les fonds mentionnés soient utilisés pour l'embauche de personnel à temps plein dédié à l'entretien du site Web et aux activités de vulgarisation et de sensibilisation. Le CNRC-IHA, la CASCA, l'ASC et ACURA devraient tous être impliqués dans la gestion du site Web. La CASCA devrait se charger d'identifier un mécanisme pour fournir le soutien requis, de même qu'un hôte potentiel pour l'hébergement du site Web.

### Budget

Le tableau 1 résume les dépenses totales recommandées en dollars courants, sans inflation, pour l'astronomie spatiale et au sol pour la période allant de 2005 à 2011, soit le temps restant du cycle de dix ans du PLT depuis le début de son financement en 2002. En date d'aujourd'hui, soit après trois ans écoulés du cycle de financement initial de cinq ans du PLT, approximativement 64 millions de dollars ont été promis par le CNRC et la FCI pour le financement des projets au sol, principalement ALMA. L'astronomie au sol doit de toute urgence avoir accès à une nouvelle tranche de 69 millions de dollars, principalement pour compléter les études liées au SKA, pour assurer la participation canadienne au projet du TMT, pour amorcer un programme de développement instrumental amélioré pour Gemini et pour développer une nouvelle installation informatique haute performance de première ligne pour l'astrophysique. Un montant additionnel de 167 millions de dollars est recommandé pour la période 2007-2008 à 2011-2012 pour la poursuite du développement de tous les projets au sol du PLT, ce qui résulte en une somme requise totale (en provenance de toutes les sources) pour la période de sept ans entre 2005-2006 et 2011-2012 de 236 millions de dollars. L'augmentation par rapport aux estimations originales du PLT pour l'astronomie au sol (164 millions de dollars pour dix ans) est due principalement au devancement du calendrier du projet du VLOT/TMT par rapport à ce qui avait été prévu dans le PLT.

L'ASC s'est jusqu'à maintenant engagée pour un montant de 39 millions de dollars en appui à l'implication canadienne dans l'astronomie spatiale, ce qui inclut le TSJW et la mission Herschel/Planck. L'ASC prévoit investir 85 millions de dol-



lars additionnels pour tous les projets spatiaux jusqu'en 2010, portant sa contribution totale à environ 124 millions de dollars. Ces sommes sont entièrement approuvées par le CRMP, tandis que des montants additionnels ont été alloués pour les bourses postdoctorales et les programmes de vulgarisation et de sensibilisation du public recommandés par le CRMP.

### **Le financement et la gestion des grandes installations astronomiques**

Étant donné qu'aucune agence fédérale isolée ou groupe universitaire ne peut prendre en charge la totalité du PLT, il importe d'aborder la question du financement et de la gestion des grandes installations astronomiques au Canada. De nouvelles possibilités de financement (par exemple, la FCI) permettent à présent aux universités canadiennes d'amasser les fonds nécessaires, mais l'envergure et la durée de la participation aux projets d'observatoires mondiaux appellent à une coopération concrète entre les agences et à la définition d'une vision commune de la gestion et du financement des grandes installations. C'est face à ces nouvelles opportunités et ces nouveaux défis qu'on a créé ACURA, qui pourrait être un pas vers l'établissement d'un consensus sur le sujet.

**Le CRMP recommande** qu'ACURA, en collaboration avec la CASCA, prenne en charge le développement et l'évaluation de modèles pour l'établissement d'une nouvelle structure de développement et de gestion des grandes installations astronomiques canadiennes. Ceci devrait être fait en collaboration avec les agences concernées, le CNRC-IHA, le CRSNG et l'ASC. On devra s'assurer de préserver les forces actuelles du Canada (par exemple, le CNRC-IHA) et d'accorder aux chercheurs universitaires individuels – faisant ou non partie d'ACURA – de la flexibilité dans la poursuite de leurs propres projets en astronomie. L'un des objectifs centraux devrait être la mise en place d'un mécanisme stable et efficace pour le financement des contributions en capital et des phases d'exploitation des grands projets et installations astronomiques internationaux.

### **Retombées économiques**

Tous les projets du PLT ont d'importantes répercussions sur l'industrie canadienne et sur la formation universitaire connexe. La plus grande partie des investissements canadiens dans le développement et la construction des grandes installations pour les télescopes internationaux est dépensée au Canada. La compétitivité internationale de l'industrie canadienne, en astronomie comme dans d'autres domaines, s'en trouve renforcée. Tel que mentionné dans le PLT, l'indice de rentabilité des investissements canadiens gouvernementaux dans les installations astronomiques est d'environ 2:1. Les secteurs de la technologie bénéficiant des retombées actuelles des projets du PLT incluent les structures dynamiques, la microélectronique, la photonique, de même que d'autres secteurs des télécommunications et de l'industrie aérospatiale. Mentionnons par exemple la fabrication de structures de grands télescopes et d'autres structures d'acier par AMEC Dynamics Structures Ltd, de même que la fabrication d'instruments pour le Tsjw par EMS Technologies Inc.

**Tableau 1: Investissements recommandés pour la période 2005-2011  
(millions \$ CAN)**

		Priorité	Au sol	Spatial
<b>Installations mondiales</b>	ALMA	*	22	
	SKA	*	24,5	
	VLOT/TMT	*	125	
	TSJW	*		60,6
	<b>Sous-totaux</b>		<b>171,5</b>	<b>60,6</b>
<b>Projets de taille moyenne</b>	Herschel/Planck	*		8,9
	Autres projets spatiaux			15,6
	Gemini	*	21,3	
	Groupes des récepteurs/ corrélateurs		2,0	
	Télescopes de l'OFA		0,25	
	<b>Sous-totaux</b>		<b>23,6</b>	<b>24,5</b>
<b>Ressources humaines</b>	Personnel de recherche à l'IHA	*	4,3	
	Bourses Herzberg	*	3,2	
	Bourses de l'ASC	*		1,5
	Bourses du CRSNG	*	1,6	
	Labo. d'astro. expérimentale		4,9	
	Subventions de recherche		2,1	
	<b>Sous-totaux</b>		<b>16,1</b>	<b>1,5</b>
<b>Informatique</b>	OVC		3,0	
	CHP		15,0	
	Subventions d'équipement		3,5	
	<b>Sous-totaux</b>		<b>21,5</b>	
	Vulgarisation		3,0	1,3
	<b>Totaux</b>		<b>235,7</b>	<b>87,9</b>

\* désigne une association avec une recommandation prioritaire.

# Histoire et financement du Plan à long terme

Le PLT estimait à 164 millions de dollars l'investissement nécessaire pour couvrir les coûts d'un ensemble de projets fascinants et stratégiques en astronomie au sol, et de 100 millions de dollars pour un ensemble de projets tout aussi captivants en astronomie spatiale, et ce sur une période de dix ans. Une variété de projets spatiaux et basés au sol, considérés comme étant la première génération des observatoires mondiaux et impliquant de grandes collaborations internationales, y ont été classés par ordre d'importance par le CPLT. La priorité concernant la participation canadienne à un projet spatial a ainsi été accordée au TSJW, alors connu sous le nom de NGST. La participation canadienne à ce projet d'observatoire mondial est financée par l'ASC, qui s'est engagée à y investir 50 millions US\$. Il s'agit jusqu'ici du plus grand investissement canadien en astronomie, ce qui témoigne de l'importance croissante de l'ASC et des projets spatiaux au sein de l'astronomie canadienne. L'ASC s'est en effet très vite révélée un défenseur du PLT. Parmi les autres participations à des projets spatiaux, mentionnons notamment le projet Herschel/Planck (initialement nommé FIRST/Planck). La priorité pour ce qui est des installations au sol de première génération a été accordée à une participation au projet ALMA. Le plan s'intéresse aussi à l'émergence des fascinants projets d'observatoires mondiaux de seconde génération comme le SKA et le VLOT. L'astronomie canadienne est aujourd'hui bien avancée dans la réalisation du plan : les projets qui avaient été recommandés pour les cinq premières années sont en cours et ceux prévus pour la prochaine décennie montrent les signes de progrès significatifs. Tout indique qu'on doit s'attendre à une réussite, tant scientifique qu'économique.

Quelques événements, dont certains imprévus, ont marqué la première année d'exercice du plan. Le CPLT a d'abord modifié le plan en janvier 2001, de façon à tenir compte de l'absence d'un partenaire international pour le projet de développement d'un télescope de huit mètres à grand champ (WF8m). Les modifications ont tenu compte du plan décennal américain de juin 2000 qui avait désigné le VLOT, alors nommé le Giant Segmented Mirror telescope (GSMT), comme projet prioritaire pour l'astronomie américaine. Cet événement avait

alors encouragé la communauté astronomique internationale à concevoir un grand télescope, et la nouvelle version du plan demandait qu'on redirige les fonds destinés au WF8m pour appuyer le développement d'un VLOT. Le CNRC-IHA et l'industrie canadienne ont alors immédiatement débuté des études de conception dont les résultats sont parus en 2003 sous la forme d'un cahier de projet pour le VLOT. Cette étude de « validation de concept » pour le design d'un télescope de 20 mètres a eu un impact unanimement reconnu. En second lieu, le Canada s'est engagé comme participant au développement de SCUBA-2, une puissante caméra bolométrique devant remplacer SCUBA au TJCM aux environs de 2006, grâce à une subvention en provenance du Fonds international de la FCI. Le PLT n'avait pas prévu cette initiative, qui n'avait donc pas été prise en compte. Troisièmement, le CNRC et la National Science Foundation (NSF) américaine ont conclu une entente concernant la participation du Canada à ALMA via un arrangement entre le CNRC-IHA et l'Associated Universities Inc. (AUI), qui exploite le National Radio Astronomy Observatory (NRAO). Cet accord, appelé NAPRA, inclut une disposition selon laquelle le Canada aurait accès à toutes les installations radioastronomiques exploitées par le NRAO (incluant ALMA), en échange d'une contribution en équipement équivalant à 30 millions US\$. Quatrièmement, la FCI, qui est maintenant en mesure de fournir un soutien financier pour les infrastructures aux partenariats internationaux, est devenue une nouvelle source potentielle de financement pour le PLT. C'est ce dernier développement qui a inspiré la formation d'ACURA, une nouvelle organisation regroupant 21 universités et qui œuvre à amasser les fonds nécessaires à la construction et à la gestion de grandes installations.

Ayant mis sur pied le Fonds international de la FCI, le gouvernement fédéral a demandé à ce qu'une partie du PLT soit financée par une subvention de la FCI. Une note de service du CNRC, adressée au cabinet en 2001, sollicitait 35,9 millions de dollars pour un financement partiel du PLT. Ce montant incluait la totalité des fonds nécessaires au développement d'un récepteur pour ALMA pour les cinq premières années, de même que des fonds destinés à d'autres projets du PLT. Parallèlement, un groupe de chercheurs universitaires a soumis à la FCI, au nom de la communauté astronomique, une demande de subvention d'environ 30 millions de dollars pour la réalisation des projets liés au NAPRA. La demande comprenait le paiement des frais d'accès au site de ALMA, de même que le financement du développement d'un corrélateur pour ALMA au CNRC. Le corrélateur est un ordinateur conçu et construit sur mesure qui combine les signaux en provenance des antennes du EVLA pour produire des images des sources radio observées. Comme la majorité du travail aurait été effectué au CNRC, la FCI a choisi de ne pas financer le projet du corrélateur, mais elle a accordé environ 8 millions de dollars pour l'infrastructure du site de ALMA et pour une partie du développement logiciel. Étant donné le soutien enthousiaste de la CCPA et de l'ensemble de la communauté astronomique pour le projet de corrélateur, le gouvernement fédéral a octroyé une somme de 20 millions de dollars au CNRC pour sa réalisation. Ceci a mené à la signature d'un protocole

d'entente sur ALMA entre le CNRC et la NSF en juin 2003. On en est donc à présent à environ 56 millions de dollars alloués au CNRC et 8 millions de dollars alloués aux universités. Ces montants n'auraient pu être atteints sans la campagne d'information menée par la CCPA et le support de la communauté astronomique. Bien qu'ils n'atteignent pas les 82 millions de dollars préconisés par le PLT pour les cinq premières années, ces fonds ont permis de bien démarrer la réalisation de la portion du PLT concernant les projets basés au sol, qui a débuté en 2002.

Entre-temps, l'ASC est allée de l'avant avec des engagements financiers fondés sur les priorités du PLT, visant assurer la participation du Canada aux projets spatiaux recommandés. Ces projets comprennent le TSW, qui devrait être lancé en 2011, et la mission Herschel/Planck (précédemment connue sous le nom de FIRST/Planck), dont le lancement est prévu pour 2007. Entre autres projets spatiaux internationaux, mentionnons aussi ODIN, FUSE et BLAST. L'ASC a de plus appuyé la mission spatiale MOST, entièrement canadienne, qui a été lancée en 2003 et qui fonctionne bien. L'ASC a investi un total de 8,3 millions \$ CAN entre janvier 2000 et mai 2004 pour le TSW, et un investissement supplémentaire de 60,6 millions \$ CAN est prévu d'ici le lancement. Les montants correspondants pour la mission Herschel/Planck sont de 11,8 millions \$ CAN et 8,9 millions \$ CAN, tandis que le coût total de MOST a été de 7,9 millions de dollars. On prévoit que le montant total des investissements canadiens pour l'astronomie spatiale entre les années 2000 et 2010 sera d'environ 124 millions \$ CAN, ce qui comprend les projets susmentionnés et d'autres projets de l'ASC.

En 2003, ACURA a sollicité une subvention de 125 millions de \$ CAN pour couvrir la moitié des dépenses nécessaires pour devenir, en collaboration avec le CNRC-IHA, un partenaire à 25% dans le projet international du VLOT/TMT. Les autres partenaires sont le California Institute of Technology (Caltech), l'University of California (UC) et l'Association of Universities for Research in Astronomy (AURA). Le projet du TMT connaît actuellement une rapide progression, grâce aux 35 millions USD alloués à Caltech et à l'UC par la Moore Foundation. Au vu de l'évaluation positive des pairs et des commentaires élogieux qu'a suscités la demande d'ACURA, la FCI a octroyé un montant provisoire de 10 millions \$ CAN, conditionnel à un fonds de contrepartie de 6 millions de \$ CAN, pour permettre aux Canadiens d'entreprendre la phase de conception détaillée du TMT. On s'efforce actuellement de garantir ces fonds de contrepartie.

# Développements scientifiques

Depuis la rédaction du PLT en 1999, notre connaissance de l'univers s'est étendue de façon spectaculaire, tant aux échelles les plus petites qu'aux plus grandes, et nous avons pris conscience de nouveaux et profonds mystères. Au cours des dernières années, les astronomes ont découvert l'existence de l'énergie sombre, un mystérieux constituant d'origine inconnue et représentant approximativement 70% de l'énergie de l'univers. L'existence de cette énergie est nécessaire pour expliquer le phénomène, par ailleurs tout à fait inattendu, de l'accélération de l'expansion de l'univers. Ce constituant s'ajoute donc maintenant à la toujours mystérieuse matière sombre, qui compose environ 25% de l'univers, et à la matière baryonique ordinaire ou visible, qui n'en compose qu'environ 4%. La nature de l'énergie sombre est actuellement l'une des principales questions reliées à l'origine de l'univers. Elle a été découverte lors de la mesure, à l'aide de grands télescopes optiques, de la faible lumière en provenance de supernovae dans des galaxies se trouvant à des distances cosmologiques, et donc observées telles qu'elles étaient il y a très longtemps dans l'histoire cosmique. Ces observations nous ont révélé que l'expansion de l'univers était plus lente dans le passé, et donc que l'expansion universelle est en accélération. L'observation de galaxies encore plus distantes à l'aide du TSNR et du TMT permettra d'étudier les propriétés et la nature physique de l'énergie sombre cosmique.

La structure du rayonnement cosmique fossile a récemment pu être examinée sur une grande variété d'échelles spatiales, en grande partie (mais pas exclusivement) grâce à des missions spatiales telles le Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP). Cette structure est due aux fluctuations dans la densité de la matière de l'univers jeune, fluctuations qui se sont « imprimées » dans le rayonnement cosmique. Elle pourra être observée directement et caractérisée en plus de détails grâce à des satellites comme celui de la mission Herschel/Planck. Ces observations sont cruciales non seulement pour la compréhension de l'origine de l'univers, mais aussi pour l'étude de l'origine et de l'évolution de ses constituants, à savoir les galaxies et les étoiles. L'utilisation de caméras bolométriques dans des bandes submillimétriques, principalement SCUBA sur le TCM, a permis la détection de galaxies à des étapes de forma-

tion très précoces. Les grands télescopes optiques, de même que WMAP, ont peut-être recueilli des indications sur l'époque de la « première lumière », soit l'époque à laquelle la radiation en provenance des premières galaxies a commencé à ioniser la matière de l'univers. S'étant refroidie juste après le « Big Bang », cette matière de l'univers en expansion était jusqu'alors restée neutre, ou non-ionisée. L'époque de la « première lumière » pourra bientôt être observée grâce aux radiotélescopes captant les ondes de longueurs de l'ordre du mètre, ce qui donne une idée des répercussions potentielles du SKA.

À une autre échelle, on continue d'assister régulièrement à la découverte de planètes extra-solaires, si bien qu'on en connaît à présent 135. Des centaines d'autres seront vraisemblablement connues bientôt. De telles études donnent un aperçu de la fréquence d'occurrence de systèmes solaires semblables au nôtre et de la façon dont ils se forment. Bien que quelques planètes de masses comparables à celles d'Uranus et de Neptune aient été détectées très près de leur étoile, on n'a pu jusqu'à présent détecter principalement que des planètes de masses comparables à celle de Jupiter ou plus grandes. Une nouvelle génération de télescopes possédant une sensibilité et un pouvoir de résolution accrus permettra éventuellement la détection de planètes du type de la Terre, et possiblement d'indices de présence de vie intelligente sur ces planètes. À l'aide de nouveaux instruments infrarouges et submillimétriques, on étudie actuellement les processus menant à la formation d'étoiles et de planètes dans notre propre Voie lactée. On assiste présentement à une croissance du domaine de l'étude de la formation stellaire et planétaire au Canada, croissance motivée par les accès prochains et très attendus à ALMA, au TSJW et au TMT.

Des résultats récents ont montré que toutes les étoiles se forment dans les régions de haute densité de nuages de gaz moléculaire, par un effondrement gravitationnel donnant naissance à des disques gazeux. Les étoiles se forment ensuite par l'accrétion du gaz formant ces disques, en même temps que commencent à s'y former des planètes. Les nouveaux télescopes décrits dans le PLT et dans ce rapport, dont ALMA, le TSJW et le TMT, rendront possible l'observation directe de ces disques proto-stellaires et proto-planétaires. Nous devrions aussi être en mesure d'y reconnaître les signes de la formation de planètes géantes.

Les plus grands télescopes ont récemment sondé le centre de la Voie lactée dans l'infrarouge pour y observer les étoiles et mesurer leurs rapides mouvements orbitaux autour du centre dynamique de la Galaxie, afin de confirmer la présence en ce centre d'un trou noir d'une masse de plusieurs millions de fois celle du Soleil. La question de savoir pourquoi la présence d'un tel trou noir n'a pas produit un « noyau galactique actif » dans le centre de notre Galaxie demeure entière. L'avis général est en effet qu'un trou noir de cette masse accrétant le gaz interstellaire devrait produire ce genre d'activité, qui par ailleurs est aussi à l'origine du phénomène des quasars. Une réponse à cette question nécessitera l'étude à très haute résolution du gaz interstellaire de la région nucléaire de la Galaxie, ce que permettront les télescopes mentionnés plus haut, plus particulièrement ALMA, le SKA, de même que le TMT et le TSJW.

D'autres percées importantes ont été rapportées du côté de la physique des objets compacts. Ces développements comprennent la découverte de pulsations ayant des fréquences de l'ordre de la milliseconde dans les étoiles binaires à rayons X de faible masse, l'identification de « magnetars », soit des étoiles à neutrons présentant des champs magnétiques excessivement intenses, de même qu'un système binaire impliquant deux pulsars, qui permettra de nouveaux tests pour la relativité générale. Le SKA permettra de mener ce genre de recherche à des niveaux de détection supérieurs et de découvrir plusieurs autres objets d'analyse.

Les instruments du PLT sont les outils idéaux si l'on cherche des réponses à ces questions scientifiques, entre autres, en raison de leur sensibilité et de leur pouvoir de résolution supérieurs à ceux des télescopes existants, et ce sur un grand intervalle de longueurs d'onde. De plus, la complémentarité de ces instruments offre aux astronomes une image des phénomènes observés bien plus complète que ce qu'il serait possible d'obtenir avec chaque instrument pris isolément. Les instruments du PLT peuvent donc être vus comme un « coffre à outils » essentiel pour permettre aux Canadiens de s'attaquer aux questions situées aux frontières de nos connaissances en astrophysique.

Les questions scientifiques décrites ci-dessus doivent aussi faire l'objet de recherches théoriques faisant intervenir des ordinateurs haute performance. La sensibilité et le pouvoir de résolution des télescopes modernes, la quantité de données qu'ils fournissent et la modélisation des phénomènes observés nécessitent l'utilisation d'ordinateurs toujours plus performants. Des modèles sophistiqués, qui nous permettent de comprendre les processus impliqués dans les phénomènes observés, ont été développés pour simuler une variété de phénomènes, dont les jets et les disques proto-planétaires, les changements de structure rapides à l'intérieur des étoiles en explosion, les interactions et les fusions entre les galaxies, et la croissance des structures de l'univers sur une grande échelle, menant à la formation des galaxies et des étoiles. Ces simulations numériques sont rapidement devenues des outils de recherche indispensables et des guides pour la planification des observations à mener aux télescopes actuels et de futures générations. Les astrophysiciens se consacrant à la simulation numérique ont besoin d'avoir accès dès maintenant à des ordinateurs dont la performance se classe parmi les vingt plus élevées au monde, pour demeurer à la fine pointe et compléter pleinement les installations performantes décrites dans le PLT.

Les astronomes canadiens apportent une contribution importante, tant du côté de l'observation que par leurs travaux théoriques, à la plupart des domaines de recherche susmentionnés, dont la nature de la matière sombre, l'évolution des galaxies, la formation stellaire, la physique des objets compacts et la constitution et la dynamique de notre système solaire. Ils sont dans beaucoup de cas des chefs de file de leur domaine et seront donc outillés, grâce aux installations du PLT, pour continuer à faire progresser la réputation du Canada en astrophysique.



# Révision à mi-parcours

## 4.1 Cadre de référence

Le cadre de référence suivant est conforme à celui donné au CRMP par le Comité de direction de la CASCA.

Depuis le lancement du PLT en l'an 2000, le CNRC et l'ASC, solidement appuyés par le gouvernement fédéral, ont consenti à d'importants engagements pour atteindre plusieurs des objectifs principaux du PLT. Ces engagements comprennent l'implication canadienne dans le projet du TSJW et la réunion des conditions nécessaires pour inclure le Canada dans une collaboration nord-américaine lui permettant d'être un partenaire du projet ALMA.

Le PLT a cependant été défini sur dix ans, tandis que la durée maximale d'un financement par reconduction est de cinq ans. On n'a pas trouvé les fonds nécessaires à la réalisation de toutes les recommandations du PLT. Dans certains cas, comme celui des études nécessaires à la participation canadienne aux projets du SKA et du VLOT et fortement recommandées dans le PLT, les sommes prévues seront épuisées dès le mois de mars 2005. De plus, le financement des cinq premières années (2002-2006) du PLT n'atteint pas le montant préconisé par le PLT pour cette période.

De nouveaux facteurs viennent cependant modifier les options de financement et de gestion pour les grandes installations astronomiques canadiennes, notamment l'instauration de fonds de la FCI pour des projets nationaux et internationaux et la création d'ACURA. Ces nouveaux développements surviennent au bon moment, alors qu'il devient clair que le CNRC-IHA ne sera pas en mesure de prendre en charge l'ensemble du PLT. La révision à mi-parcours doit tenir compte de ces développements et en tirer avantage. Elle doit faire des recommandations qui préciseront le parcours du PLT et assureront sa réussite. Elle doit anticiper les directions possibles du prochain plan décennal, dont le comité sera formé d'ici l'automne 2008.

Le présent document est une révision à mi-parcours et ne prétend pas être aussi extensif et élaboré que le PLT original. Il requiert cependant la même intégrité, le même engagement à la transparence et une implication égale de la part des astronomes canadiens. Ce rapport est élaboré en conformité avec le PLT original et devra pouvoir servir d'outil de référence aux membres de la communauté dans leur recherche de financement pour les prochaines phases du PLT. Le CRMP, en collaboration avec la communauté astronomique canadienne, l'ASC, le CNRC, le CRSNG, ACURA et les industries concernées, a le mandat de prendre connaissance des progrès accomplis dans la réalisation des objectifs du PLT, d'identifier tout problème d'implémentation sérieux, et de recommander les stratégies à adopter pour les cinq prochaines années. Le CRMP a le mandat d'identifier les secteurs n'ayant pas connu de progrès suffisant, comme dans le cas de l'établissement de laboratoires universitaires d'instrumentation, de même que d'identifier des façons de maintenir l'exploitation des installations internationales dans lesquelles le Canada est, ou sera, impliqué. Cet examen doit couvrir toutes les initiatives comprises dans le PLT, sans cependant faire une révision majeure ou encore une extension du plan ne correspondant pas à ses objectifs originaux. De par son mandat, le CRMP doit impliquer ouvertement la communauté dans sa révision et utiliser pour cela des moyens facilitant la participation de tous les membres de la CASCA.

Le CRMP avait pour mandat de présenter à la CASCA un rapport préliminaire avant le 31 mai 2004 et d'organiser une séance de discussions du rapport au cours de la réunion générale annuelle de la CASCA, tenue du 13 au 16 juin 2004. La version finale du rapport devait être soumise pour le 30 septembre 2004.

## 4.2 Mise en œuvre de la RMP

La mission du CRMP était donc de produire un plan opportun, d'envergure plus limitée que celle du PLT lui-même, et dont le processus se devait d'être le plus ouvert possible à l'examen et à la participation de la communauté astronomique canadienne. On a donc tenu, du 22 au 24 avril 2004 au CNRC-IHA à Victoria, une grande rencontre accueillant les membres de la communauté directement concernés par la mise en application du PLT. La rencontre était diffusée sur Internet et il était possible d'y participer à distance et en direct par l'envoi de courriels. Un forum de discussion libre a de plus été installé sur le site Web de la CASCA pour permettre des échanges au sujet de la RMP à partir des rapports de chercheurs principaux. Prenant en compte les résultats de ces débats et les commentaires de la communauté, le CRMP a produit un rapport préliminaire le 31 mai 2004. Le rapport préliminaire a été l'objet d'un second forum, tenu le 16 juin 2004 à la réunion générale annuelle de la CASCA. Les membres de la CASCA ont été invités une fois de plus à apporter leurs commentaires dans le forum du site Web de la CASCA. Une avant-dernière version du rapport, basée sur toutes les révisions et suggestions reçues jusqu'à la fin du mois de juillet 2004, a été produite au début du mois d'octobre et révisée par un comité choisi par la CASCA. Cette dernière étape a repoussé la date de livraison du rapport final au début de novembre 2004.

La présentation de ce chapitre est similaire à celle du chapitre 5 du document du PLT et regroupe les recommandations selon différents sujets directeurs. Une section est consacrée à chaque nouvelle installation, débutant par un rappel des recommandations du PLT sur le sujet, puis présentant une mise à jour de ce qui a été accompli depuis le début de la réalisation du PLT. Chaque exposé se termine par les nouvelles recommandations du CRMP.

### 4.3 Observatoires mondiaux

L'ampleur et le caractère unique des observatoires mondiaux en font des projets requérant l'implication d'une bonne partie de la communauté internationale. Depuis son implication dans la construction du TCFH au sommet du Mauna Kea à Hawaïi, le Canada participe à de telles initiatives internationales pour des installations astronomiques. Les réussites du Canada dans le développement et l'exploitation scientifique du TCFH lui ont forgé une réputation internationale, et l'ont mené à établir d'autres partenariats tels celui pour le TJCM, un télescope submillimétrique, et celui pour Gemini, des télescopes jumeaux optiques/infrarouges de huit mètres. L'implication du Canada au sein de tous ces partenariats multinationaux lui permet aujourd'hui d'être impliqué dans la planification et le développement de nouveaux observatoires mondiaux uniques en leur genre.

Dans le PLT, les projets d'observatoires mondiaux ont été divisés selon deux générations, la première s'étendant de 2000 à 2010, et la seconde de 2010 à 2020. En ce qui a trait aux observatoires de première génération, la priorité a été accordée à ALMA pour les télescopes au sol et au TSJW pour les télescopes spatiaux. La priorité pour les projets au sol de seconde génération va au SKA et au VLOT. Nous retiendrons ces appellations dans la suite de la discussion, bien que les calendriers de construction ou d'exploitation scientifique de ces projets aient été quelque peu retardés. Notons par exemple que le lancement du TSJW est maintenant prévu pour 2011, soit un an après la fin de la première génération.

#### A. Première génération (2000-2010)

##### (a) Grand réseau d'astronomie millimétrique d'Atacama (ALMA)

Le PLT fait les recommandations suivantes concernant la participation canadienne aux projets d'observatoires mondiaux planifiés pour la présente décennie (2000-2010) :

**Le CPLT recommande fortement** que le Canada se joigne rapidement au projet du Grand réseau d'astronomie millimétrique d'Atacama (Atacama Large Millimeter Array – ALMA). Ce projet devrait recevoir la plus haute priorité du Canada pour la participation à un grand observatoire au sol.

**Le CPLT recommande** que l'on prenne des mesures appropriées afin d'assurer, dans les meilleures conditions possibles, la participation rapide du Canada au projet ALMA. Si nous voulons y prendre part, nous devons respecter certains

La principale contribution canadienne au projet de ALMA est le développement des récepteurs initiaux des antennes du réseau. Il s'agit d'un apport critique à la mise en service de ALMA, qui aura d'importantes répercussions économiques pour l'industrie canadienne des télécommunications.

calendriers internationaux. Par exemple, le CNRC pourrait étudier activement la possibilité de tisser des liens de collaboration, solides et mutuellement avantageux, avec le National Radio Astronomical Observatory (NRAO) des États-Unis.

**Le CPLT recommande fortement** l'élargissement des groupes de recherche sur les corrélateurs et les récepteurs au CNRC. Cette recommandation devrait être l'une des principales priorités, parmi les projets de taille moyenne.

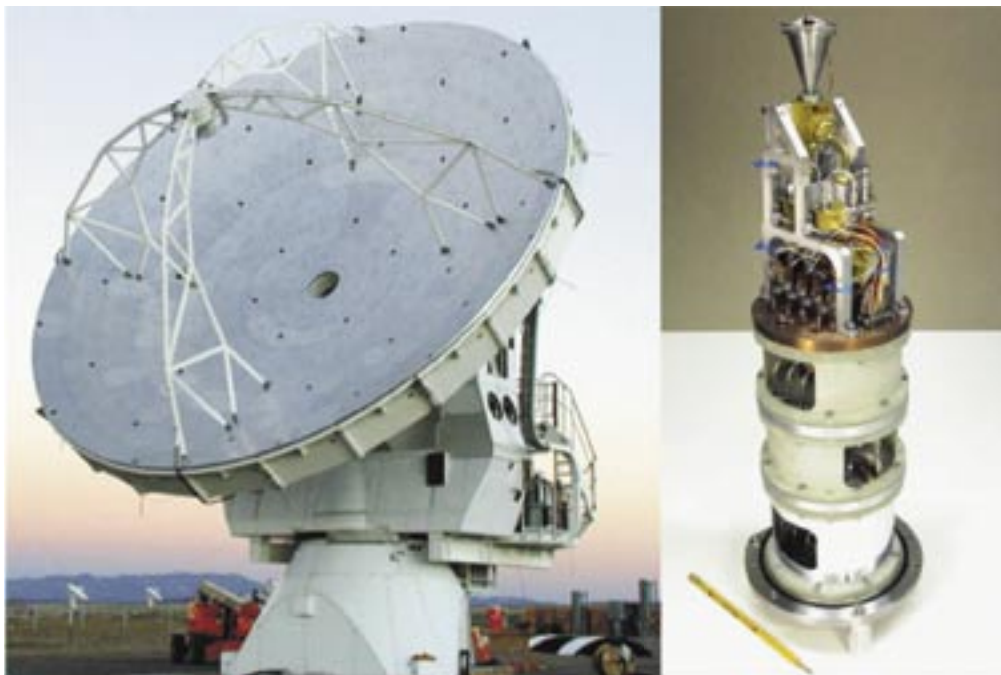
Le CRMP constate avec plaisir qu'on a fait en sorte que le Canada participe au projet ALMA, ce qui constituait la priorité canadienne en ce qui concerne les nouveaux observatoires au sol. Nous félicitons le CNRC, les astronomes universitaires impliqués et la CCPA pour avoir rendu possible une participation canadienne à cet observatoire mondial. Tel que mentionné plus loin, la principale contribution du Canada pour le moment sera la mise en service des récepteurs. Le Canada exercera donc un rôle critique dans la mise en service des antennes. L'importance de cette mission témoigne de la confiance de la communauté internationale en la compétence canadienne dans le domaine de l'instrumentation pour l'astronomie millimétrique et submillimétrique. Le CRMP considère que tous ces développements concernant le projet ALMA au Canada constituent un bon départ et réitère la recommandation du CPLT à l'effet que ce projet se voit accorder la priorité pour ce qui est des observatoires au sol.

Les deuxième et troisième recommandations se sont concrétisées par la constitution du NAPRA. Cet accord entre le CNRC-IHA et le NRAO, signé en 2001, établit entre ces deux organisations une coopération dans le domaine de la radioastronomie. En plus d'avoir permis au Canada de devenir un partenaire de ALMA, cette entente lui garantit un accès à toutes les installations radio-astronomiques exploitées par le NRAO, et ce sur la même base que la communauté astronomique américaine pour la plus longue des deux périodes proposées, soit une période de dix ans, ou jusqu'à cinq ans après le début des opérations de l'Expanded Very Large Array (EVLA). Un accord séparé concernant ALMA ayant été signé depuis (voir plus bas), les retombées les plus importantes du NAPRA seront dues à l'arrangement qui confie au CNRC-IHA le développement et la production du nouveau corrélateur du EVLA, au coût d'environ 20 millions de \$ CAN.

Ces développements sont décrits et commentés plus en détail dans ce qui suit:

Grâce aux fonds octroyés pour le PLT par le CNRC et la FCI, le Canada participe aujourd'hui au projet ALMA. Ce projet est un partenariat à part égale entre l'Europe et l'Amérique du Nord, et des discussions sont en cours pour une éventuelle implication du Japon (voir plus loin). Le Canada s'est joint à cette association en tant que partenaire des États-Unis. L'Organisation européenne pour des recherches astronomiques dans l'hémisphère austral (European Southern Observatory – ESO) et des représentants de la NSF ont signé le 26 février 2003 un accord bilatéral, donnant ainsi naissance au projet ALMA et créant un comité de direction composé de huit membres. C'est le 16 juin 2003 que le CNRC et la NSF ont signé un accord officialisant la participation canadienne à ALMA et

sa présence sur le comité du projet, le Comité consultatif scientifique de ALMA, de même que sur les comités d'allocation de temps d'observation. L'accord stipule que le Canada occupe l'un des quatre sièges nord-américains du Comité. Le droit d'accès du Canada à ALMA tel que défini dans l'accord se lit comme suit: « Les demandes d'observation sur ALMA en provenance de scientifiques d'instituts canadiens seront considérées sur un pied d'égalité avec celles provenant des scientifiques travaillant aux Etats-Unis. » Cette entente remplace l'arrangement décrit dans le NAPRA, qui garantissait au Canada l'accès à ALMA pour la durée du NAPRA. La construction de la voie de service et du camp des travailleurs a débuté en juillet 2003. Toutes les questions reliées au terrain au Chili ont été réglées avant le 24 février 2004. Deux antennes prototypes de 12 mètres ont été achetées et testées sur le site du VLA au Nouveau-Mexique et les résultats de cette évaluation ont été délivrés en mai 2004. L'une de ces antennes est montrée à la figure 4.1.



**Figure 4.1:** À gauche : Vertex prototype d'une antenne de 12 mètres de ALMA, en test au NRAO. À droite : cartouche du récepteur prototype à 3 mm (bande 3), développé et construit au CNRC-IHA, subissant des tests thermiques et mécaniques préalables aux tests de performance complets à l'intérieur du cryostat.

Photos: NRAO/AUI/NSF (gauche) et CNRC-IHA (droite).

Tel que rapporté en avril 2004, le Japon dispose de fonds suffisants pour devenir un partenaire important du projet ALMA. Sa contribution consistera probablement en un sous-réseau compact comprenant une série de douze antennes de sept mètres et quatre antennes de douze mètres avec des récepteurs pour des bandes de fréquence additionnelles, en plus d'autre matériel. Le réseau

compact japonais ajoutera d'importantes possibilités scientifiques au réseau construit par les Européens et les Nord-Américains. Au moment d'écrire ces lignes, un protocole d'entente entre l'ESO, la NSF et le Japon a été signé. Deux nouveaux accords incluant une définition complète de la participation japonaise seront négociés en 2005. On estime pour le moment que la participation du Japon n'affectera pas les fonds demandés aux participants européens et nord-américains.

L'apport du Canada au projet de ALMA est important. Nos contributions spécifiques à la phase de construction ont été fixées en 2001 lors de la négociation d'un arrangement avec le NRAO. Il s'agit (1) des récepteurs en bande 3 (3 mm) requis pour les antennes de ALMA, (2) du détachement d'un expert du domaine des récepteurs du CNRC-IHA chargé de diriger l'équipe d'intégration des composantes, (3) d'une participation au développement logiciel (2,5 équivalents temps plein sur cinq ans), (4) d'une contribution en connaissance spécialisée pour le développement des archives de ALMA (0,5 équivalent temps plein sur cinq ans) et (5) d'un versement en argent ponctuel destiné au développement de l'infrastructure du site du Chili.

L'allocation au CNRC du développement des récepteurs en bande 3 est un gain majeur. Il s'agit d'une chance de développer des outils scientifiques performants, qui seront essentiels à la mise en service de chaque antenne. Les récepteurs en bande 3 de ALMA seront utilisés pour la détection de l'émission en provenance des molécules de CO dans les régions de formation stellaire. Ces données permettront aux chercheurs d'observer les régions internes de disques protostellaires proches, de même que des régions de formation stellaire jusqu'ici inobservables parce que situées dans des galaxies très éloignées. Le développement et la fabrication de ces récepteurs représentent un défi technique fascinant. Il s'agira de dispositifs à la fine pointe de la technologie possédant des spécifications jamais rencontrées par aucun autre appareil fonctionnant à une température absolue de 4 K. Conformément aux recommandations du PLT, l'équipe en charge de ces récepteurs à l'IHA est maintenant complète, et est formée d'approximativement 14,5 équivalents temps plein impliquant plus de 20 personnes. En mars 2004, cette équipe a mené avec succès un examen de conception préliminaire faisant appel à une équipe d'experts internationaux. Étant donné l'intention du CNRC d'accorder les contrats pour la fabrication des récepteurs à des entreprises canadiennes, ces développements auront d'importantes retombées économiques et renforceront les compétences et l'influence canadienne dans le domaine de l'électronique des communications (voir aussi le chapitre 6). La figure 4.1 montre le prototype d'un récepteur en bande 3 dans le laboratoire du CNRC-IHA, prêt à être placé dans son cryostat pour y être testé. Le Canada s'est engagé à produire un tel récepteur pour chaque antenne : cette production sera confiée à l'industrie canadienne dès que le prototype aura été testé et approuvé par le projet ALMA.

Le financement de la participation canadienne à ALMA a été garanti jusqu'en 2006-2007. Les fonds proviennent du CNRC (17,4 millions de dollars pour les récepteurs en bande 3 et pour l'équipe des récepteurs) et de la FCI (7,93

millions de dollars pour les frais d'accès au site et pour le développement logiciel). La prise en charge des frais d'accès au site constitue la contribution canadienne au développement de l'infrastructure du site. L'IHA a maintenant besoin du reste des fonds requis de la part du CNRC pour compléter la fabrication du récepteur en bande 3 et pour payer notre contribution aux opérations scientifiques. L'IHA prévoit que la fabrication des récepteurs pour ALMA coûtera approximativement 12 millions de \$ CAN dans la période 2006-2007 à 2011-2012. Le Canada s'est de plus engagé, de par le protocole d'entente entre la NSF et le CNRC, à verser 7,25% de la part nord-américaine du budget d'exploitation annuel, ce qui a été estimé à un montant de 3 à 4 millions de \$ CAN par année après 2012. Certaines opérations scientifiques sont toutefois prévues dès l'arrivée des trois premières antennes, si bien que certains coûts d'exploitation pourraient survenir dès 2006. À la différence d'un télescope monolithique, l'exploitation d'un interféromètre peut débuter dès qu'on dispose de quelques antennes, si bien que les phases de construction et d'exploitation se chevauchent pendant un certain temps. En conséquence, les coûts d'exploitation augmenteront de 2007-2008 à 2011-2012 pour totaliser environ 10 millions de \$ CAN pour cette période de cinq ans. Le CRMP considère qu'il est essentiel de financer à la fois les récepteurs et les premières opérations scientifiques de ALMA. Il est à noter que les fonds d'exploitation devront être renouvelés annuellement à partir de 2011-2012. Il est difficile de prévoir avec précision le coût d'exploitation total de cet observatoire mondial complexe seulement deux ans après le début de la phase de construction, qui devrait en durer neuf. Ce rapport préconise d'affecter des fonds de 4 millions de dollars par année pour couvrir la part du Canada dans les coûts de pleine exploitation. Le CPLT a recommandé que dans le cas où le Canada retirerait sa participation du TJCM, le personnel et les frais d'exploitation qui y sont actuellement affectés devraient être réaffectés à ALMA. Le CRMP appuie cette stratégie, avec certaines réserves qui seront détaillées plus loin dans la section consacrée au TJCM. Cette réaffectation permettrait de récupérer 1,7 millions de \$ CAN par année.

Pour résumer la situation financière, le projet canadien de ALMA nécessitera, pour la période 2006-2007 à 2011-2012, 12 millions de \$ CAN additionnels pour la construction et approximativement 10 millions de \$ CAN en fonds d'exploitation (un peu moins dans le cas d'une réaffectation des ressources du TJCM à partir de 2009).

Tel qu'il a été mentionné, le projet du corrélateur du EVLA fait l'objet d'une collaboration entre le CNRC-IHA et le NRAO et a pour but d'augmenter d'un facteur dix les capacités d'observation du télescope centimétrique le plus performant au monde, le Very Large Array (VLA). Bien que n'étant pas lié à ALMA, le projet du corrélateur du EVLA fait partie du NAPRA. Le corrélateur est un ordinateur conçu et construit sur mesure qui combine les signaux en provenance de toutes les antennes et les traite de façon à produire des images des sources radio observées. Le nouveau corrélateur conçu par le Canada sera l'un des facteurs essentiels à l'amélioration des capacités du EVLA. Le télescope s'en trouvera transformé, pour le plus grand profit d'environ 35 domaines de

recherche. Le financement du projet du corrélateur du EVLA provient directement du gouvernement canadien, par le biais du CNRC, et est conforme aux objectifs du PLT. Il s'élève à 20 millions de \$ CAN jusqu'en 2007-2008 et ce financement est considéré complété.

Un élément important du projet du EVLA est la compétence du groupe de développement du corrélateur de l'OFR du CNRC-IHA, qui a élaboré pour ce projet la technologie WIDAR. La principale caractéristique de la conception WIDAR est une largeur de bande considérable, représentant une percée dans le domaine du design de corrélateurs. Le Jodrell Bank Observatory du Royaume-Uni a commandé une version du corrélateur au CNRC-IHA pour l'expansion de son interféromètre MERLIN, et le design pourrait aussi être utilisé dans la construction du SKA. Cette réalisation a été rendue possible grâce à l'aide financière additionnelle de 1,07 millions de dollars du CNRC-IHA pour le groupe du corrélateur, conformément à la troisième recommandation du PLT. Le CRMP recommande que cette aide soit poursuivie. En résumé, le CRMP fait les recommandations suivantes :

**Le CRMP félicite** le CNRC-IHA, ses collègues universitaires, la Coalition pour l'astronomie canadienne et la communauté astronomique en général, pour avoir fait en sorte que la participation canadienne au projet ALMA connaisse un bon départ, et il **réitère** la forte recommandation du CPLT à l'effet que ALMA devrait constituer le projet prioritaire de cette décennie pour l'astronomie au sol.

**Le CRMP recommande fortement** le financement de la mise en service des récepteurs à 3 mm (récepteurs en bande 3), de même que l'allocation de fonds additionnels pour une participation canadienne aux coûts d'opération de ALMA. Le respect de ces engagements est prioritaire en regard de tous les projets d'astronomie au sol pris en compte par la RMP.

**Le CRMP félicite** le CNRC-IHA pour son leadership dans le développement des récepteurs à 3 mm de ALMA et du corrélateur pour le EVLA. Ces projets soulignent la force montante du CNRC-IHA en technologie radioastronomie, ce qui rejoint une recommandation du PLT, et **le CRMP recommande** que cette expertise soit maintenue de façon à assurer au Canada un rôle important au sein des initiatives futures dans le domaine de la radioastronomie.

### **(b) Le Télescope spatial James Webb (TSJW) et le Programme canadien d'astronomie spatiale**

#### **Le TSJW**

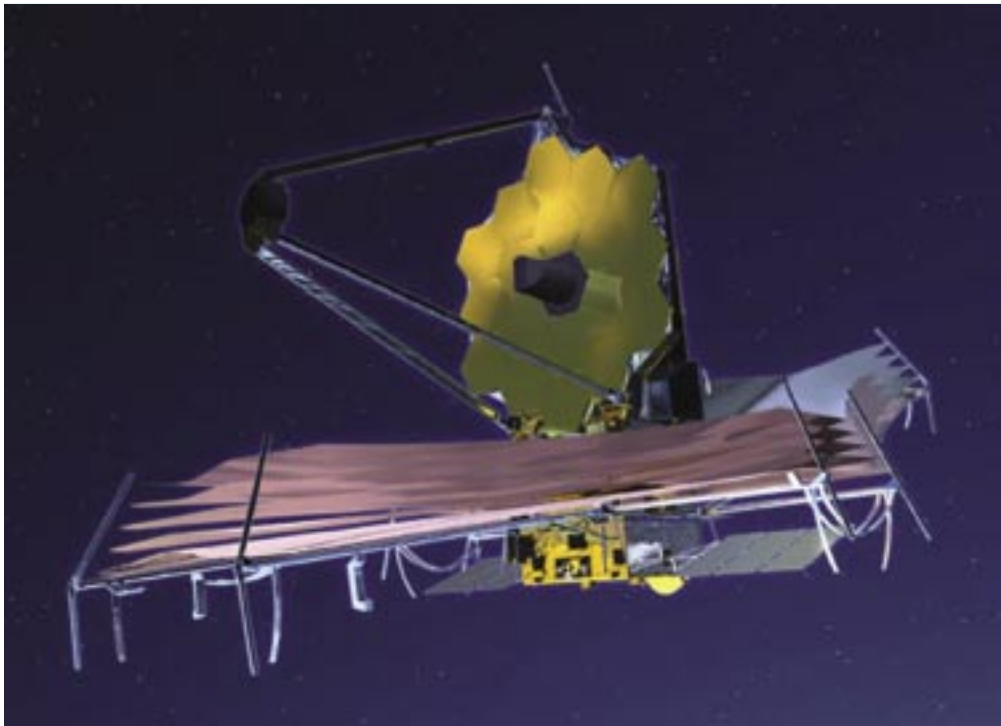
Le CPLT a fait la recommandation suivante concernant le TSJW (précédemment le NGST):

**Le CPLT recommande fortement** que le Canada se joigne rapidement au projet Next Generation Space Telescope (NGST), par l'intermédiaire de l'ASC. Ce pro-



jet devrait être la grande priorité du Canada pour la participation à un grand observatoire spatial.

Le TSJW demeurera le télescope spatial le plus performant et le plus sensible pour plusieurs années et complétera les observations du télescope spatial Hubble (Hubble Space Telescope – HST) dans le domaine infrarouge. Le TSJW est optimisé dans la région du spectre 0,6 à 28 microns et se spécialisera donc dans certains problèmes scientifiques, dont l'origine et l'évolution des galaxies. En effet, la radiation visible émise par les étoiles situées dans les galaxies les plus jeunes de l'univers se trouve décalée dans l'infrarouge par l'expansion de l'univers. Le télescope pourra détecter la lumière émise par les galaxies du temps présent, soit celles les plus près de nous, jusqu'aux galaxies vieilles de plusieurs milliards d'années, soit celles détectées à de très grandes distances. Ce télescope nous permettra donc d'étudier l'histoire cosmique de la formation stellaire avec une précision sans précédent. Les télescopes mondiaux au sol tel le TMT permettront des observations complémentaires à celles du TSJW – notamment des observations spectroscopiques. La figure 4.2 montre la conception actuellement envisagée pour le TSJW.



**Figure 4.2:** Concept actuellement envisagé pour le TSJW, montrant le miroir segmenté de 6,5 mètres composé de 18 éléments. Le télescope sera optimisé pour des observations dans la région infrarouge du spectre. La structure derrière le télescope est un écran, de la dimension d'un terrain de tennis, servant à le protéger de la radiation solaire.

Dessin: Northrop Grumman Space Technology.

Le Canada est responsable de l'instrument de guidage de précision du TSJW, équipé d'un filtre à accord variable pour l'imagerie en bandes étroites, et considéré comme une contribution majeure au projet. Son développement est mené en étroite collaboration par l'ASC, l'industrie canadienne et le CNRC-IHA.

Le CRMP souhaite souligner l'aide importante apportée par l'ASC à la participation canadienne au projet du TSJW, de même qu'à d'autres missions spatiales (voir la section 4.4A). L'ASC a investi un total de 8,3 millions de \$ CAN entre 2000-2001 et 2004-2005 pour le TSJW et prévoit y investir une somme additionnelle de 60,6 millions de \$ CAN d'ici son lancement. Ce projet est de loin le plus grand projet d'astronomie spatiale jamais entrepris par l'ASC. La participation canadienne a aussi profité de considérables ressources intellectuelles et techniques du CNRC-IHA, ce qui lui a permis d'avoir un impact proportionnel beaucoup plus important que ses 5% de parts dans le projet.

Le projet du TSJW est devenu un peu moins ambitieux que ce qui avait été envisagé dans le PLT. Pour des raisons financières, les partenaires internationaux du projet ont choisi d'en diminuer la taille, notamment en réduisant le diamètre de son ouverture de 8 à 6,5 mètres et en réduisant le calibre de sa caméra proche-infrarouge (NIRCAM). Le Canada est responsable de l'instrument de guidage de précision, dont la conception a été revue, suite à la modification de NIRCAM, de façon à inclure un filtre à accord variable pour l'imagerie en bandes étroites. Cette nouvelle conception permet de récupérer certaines capacités scientifiques du TSJW, et les partenaires du projet considèrent qu'il s'agit d'une réalisation majeure. Le développement et la fabrication de ces instruments profitent d'une collaboration étroite et efficace entre l'ASC, l'industrie canadienne et le CNRC-IHA et entraînent d'importantes retombées économiques.

### Le Programme canadien d'astronomie spatiale

L'observation de l'univers à partir de l'espace a souvent été nécessaire à l'étude d'importantes questions astrophysiques. En effet, certaines régions du spectre ne sont pas observables à partir de la Terre. Les informations recueillies lors d'observations spatiales, toujours précieuses et souvent inattendues, nous aident à développer notre savoir dans pratiquement tous les domaines de l'astrophysique, des planètes et des étoiles jusqu'au rayonnement fossile. Pour ne pas se retrouver très désavantagés face à leurs collègues américains, européens et japonais, les Canadiens doivent eux aussi pouvoir accéder à des observations de haute sensibilité et de haute résolution dans de grandes régions du spectre accessibles de la Terre et de l'espace. Il est donc impératif que la communauté astronomique canadienne continue à développer des partenariats solides et des programmes scientifiques à plus grande échelle, en collaboration avec l'ASC.

Depuis la fondation de l'ASC il y a 15 ans, les astronomes canadiens se sont retrouvés partenaires ou impliqués de façon importante dans une variété de missions astronomiques allant de l'ultraviolet aux ondes radio. La participation canadienne aux futures missions pour l'observation dans les rayons X est une poursuite de ces activités. Ce rapport a déjà exposé le cas du TSJW, et couvrira les missions Herschell/Planck, de même que plusieurs missions plus petites, dans la section 4.4A.

Le Canada occupe d'ores et déjà et sans conteste une place importante dans l'astronomie spatiale. Cette constatation, tout comme celle de l'importance grandissante de l'astrophysique spatiale, constitue la toile de fond sur laquelle nous aborderons maintenant certaines questions plus larges concernant l'astrophysique spatiale canadienne.

Dans un premier temps, le CRMP note que malgré les activités majeures ayant cours en astronomie spatiale tel que décrit plus haut et plus loin dans ce chapitre, les dépenses du Canada par habitant pour l'astrophysique spatiale représentent grossièrement un cinquantième de celles de la NASA ou de l'Agence spatiale européenne (ESA). De plus, l'ASC dépense environ 3% de son budget total pour l'astronomie spatiale, comparé à 20% pour ce qui est de la NASA ou de l'ESA. Étant donné le développement croissant de l'astronomie au Canada, il est impératif de se questionner à propos de ce déficit, tout d'abord en prenant connaissance des besoins des astronomes canadiens œuvrant dans le domaine de l'astrophysique spatiale. Il serait utile que les résultats d'une telle enquête soient présentés à la prochaine réunion de planification pour l'évaluation des besoins de l'astronomie canadienne en général. Cette étude devrait souligner les besoins complémentaires de l'astronomie spatiale et de l'astronomie au sol. Le CRMP recommande donc qu'une enquête sur les besoins des astronomes canadiens œuvrant dans le domaine spatial soit menée prochainement. Il serait approprié que la CASCA soit chargée de mener cette enquête.

La CASCA et l'ASC s'entendent pour accorder une importance primordiale à l'établissement de liens solides entre l'ASC et la communauté astronomique. Dans ce contexte, le CRMP souligne avec satisfaction le fait que les astronomes engagés par l'ASC auront l'opportunité de mener leurs propres recherches, en plus de promouvoir l'astronomie spatiale au sein de l'ASC. La seule présence de chercheurs actifs à l'ASC contribuera à renforcer ces liens, de même qu'ont été renforcés les liens entre le CNRC-IHA et le reste de la communauté astronomique. Le CRMP a pensé à d'autres moyens possibles de consolider les liens existants entre l'ASC et la communauté astrophysique.

Le seul moyen de communication officiel entre l'ASC et la communauté astronomique existant actuellement est le Comité mixte pour l'astronomie spatiale (Joint Committee on Space Astronomy – JCSA), un comité de la CASCA sur lequel siègent surtout les chercheurs principaux et co-chercheurs affectés à des missions financées par l'ASC. Bien que ce comité ait jusqu'ici permis une communication efficace des deux côtés en ce qui concerne des missions spécifiques, il serait utile d'y développer des liens efficaces avec la communauté astronomique en général. L'option favorisée par le CRMP est une représentation plus importante des astronomes parmi les membres du JCSA. Dans le cas où cette solution s'avérerait inefficace, l'ASC devrait envisager la formation d'un Conseil consultatif se consacrant à des sujets astrophysiques plus généraux et à l'avenir de l'astronomie spatiale, plutôt qu'à des missions individuelles. La représentation sur le Conseil et son mandat pourraient être similaires à ceux du Conseil consultatif de l'IHA.

Au sujet de l'astronomie spatiale, le CRMP fait les recommandations suivantes:

**Le CRMP réitère** la forte recommandation du CPLT à l'effet que le TSJW constitue le projet prioritaire du Canada pour la participation à un grand observatoire spatial au cours de cette décennie. **Le CRMP félicite** l'ASC pour avoir assuré une place au Canada dans ce projet unique et captivant, et **félicite** le CNRC-IHA pour avoir permis au Canada de s'y impliquer par une contribution au développement d'instrumentation qui est supérieure à sa quote-part.

**Le CRMP recommande** à la CASCA de procéder à une étude des besoins de l'astronomie canadienne dans le domaine de l'astronomie spatiale, en prévision du prochain Plan à long terme.

**Le CRMP félicite** l'ASC d'avoir engagé des astronomes avec un mandat comprenant la mise sur pied d'un programme de recherches actives à l'ASC. **Le CRMP recommande** de plus que les liens entre l'ASC et la communauté astronomique soient renforcés par la modification de la composition du Comité mixte pour l'astronomie spatiale (*Joint Committee on Space Astronomy – JCSA*), de façon à ce que la communauté astronomique y soit mieux représentée.

## B. Seconde génération

### Aperçu général

Le CPLT a fortement recommandé que le Canada participe à la réalisation de deux observatoires mondiaux majeurs de seconde génération, soit le SKA et le VLOT. Leur construction est prévue pour la période 2010-2020. La recommandation était justifiée par les opportunités scientifiques et les défis techniques que comportent ces projets, de même que par la réputation du Canada dans les domaines concernés – des arguments que le CRMP considère toujours aussi convaincants. Le concept du SKA est celui d'un immense réseau de radiotélescopes observant dans le domaine centimétrique et ayant une surface collectrice équivalant à un kilomètre carré. Sa surface collectrice et sa sensibilité seraient près de cent fois plus grandes que celles du plus grand radiotélescope actuel. La surface collectrice dans le concept proposé pour le VLOT est environ dix fois plus grande que celle du plus grand télescope existant. L'état d'avancement de ces projets sera présenté plus loin.

Dans le PLT, ces deux projets avaient des calendriers similaires. Ça n'est plus le cas aujourd'hui : aucun engagement officiel n'a encore été signé pour une participation au projet du SKA. De plus, le site et le design des antennes n'ont pas encore été choisis; ils devraient l'être d'ici quelques années. La technologie développée par le Canada pour les antennes du SKA, appelée le Grand réflecteur adaptatif canadien ou GRAC, est à présent bien avancée. On prévoit que, suite à l'établissement d'engagements officiels et à la sélection de la technologie adoptée pour le réseau de télescopes, on procédera à la fabrication d'un ou plusieurs éléments démonstrateurs, pour ensuite débiter la construction. Le projet de développement du GRAC (appelé études de phase B)

n'est pas, à ce jour, complètement financé. Le financement actuel se termine en 2004-2005 et des fonds supplémentaires seront nécessaires à la poursuite du projet, dont la fin est prévue pour 2008. Le Canada a cependant saisi l'opportunité de se joindre au projet du VLOT/TMT. Le consortium actuel est composé du Canada et de trois partenaires américains. Une étude de conception détaillée (*detailed design study – DDP*) est en cours. Elle sera complétée en 2008 et les travaux de construction suivront. La participation canadienne à la DDP, qui se base sur de précédents travaux de conception pour le VLOT, a un urgent besoin de financement. Il est important d'assurer la participation canadienne continue au projet.

Le Canada assume un rôle directeur au sein des projets du SKA et du VLOT/TMT. Ces deux projets sont hautement complémentaires et sont essentiels à des travaux s'attaquant à des questions scientifiques fondamentales. Il est donc vital de les achever dans les délais prévus.

#### (a) Square Kilometer Array (SKA)

Le PLT fait les recommandations suivantes concernant le SKA:

**Le CPLT recommande fortement** que le concept du Grand réflecteur adaptatif canadien (GRAC) aille de l'avant, et que l'on construise des prototypes pour l'étude des principales composantes (phase B). Cette étude devrait être l'une des principales priorités parmi les projets de taille moyenne. On pourrait ensuite réaliser (dans cinq ans environ) un examen rigoureux des résultats de cette étude, des objectifs scientifiques et de l'état de la conception du projet SKA.

**Le CPLT recommande fortement** qu'un fonds de développement soit établi pour financer la construction d'un GRAC prototype, si telle était la recommandation de l'examen de la phase B.

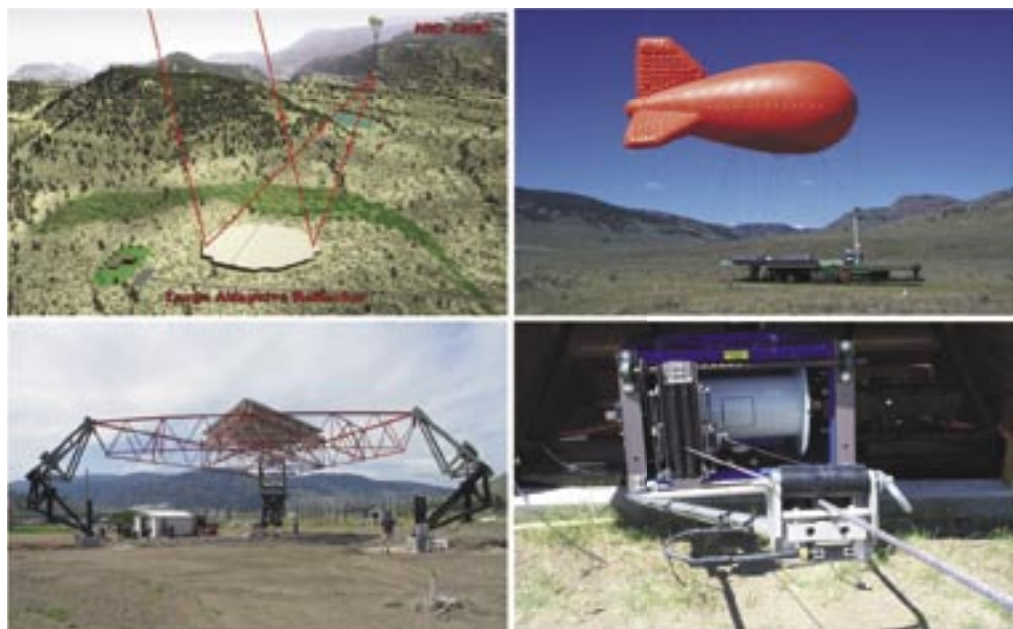
**Le CPLT recommande fortement** que le Canada prévoie dès maintenant sa participation au projet SKA.

Le concept du SKA est celui d'un réseau géant de radiotélescopes fonctionnant sur un intervalle de fréquence de 0,15 à 22 GHz. Tel qu'on l'a déjà mentionné, sa surface collectrice totale sera d'environ un million de mètres carrés, soit près de deux ordres de grandeur plus grande que celle du plus grand radiotélescope existant ou même planifié. Le réseau d'antennes aura une configuration permettant une longueur de ligne des bases maximale de plusieurs milliers de kilomètres, ce qui permettra d'atteindre, à la fréquence élevée, une résolution angulaire meilleure qu'un millième d'une seconde d'arc. Les possibilités scientifiques du SKA seront extraordinaires, et comprendront des découvertes concernant la nature de l'énergie sombre, la structure de l'univers avant la « première lumière », la formation des premières étoiles, de même que de nouveaux tests précis pour la relativité générale. Ses intervalles en fréquence et en résolution couplés à sa très grande sensibilité aux faibles sources radio en font de plus un instrument tout à fait complémentaire d'autres installations performantes telles ALMA, le TSJW et le TMT.

Le développement du concept unique du GRAC pour le SKA est un exemple éloquent de la réalisation d'une idée novatrice résultant d'une collaboration entre le gouvernement, les universités et l'industrie.

La participation canadienne au développement du concept du SKA est déjà très importante. Le président du comité international d'orientation scientifique fondateur du SKA était un Canadien, et plusieurs Canadiens sont activement impliqués dans la planification de cette installation. Le Canada compte parmi les leaders dans les 15 pays et les 34 instituts maintenant impliqués. Ce rôle important du Canada tient en partie à son grand leadership dans les domaines scientifique et technique de la radioastronomie, dû notamment à l'exploitation de longue date du radiotélescope à synthèse d'ouverture de l'OFR. Un autre facteur est le fait que le Canada ait été le premier pays à avoir fait fonctionner un interféromètre à très longue base en 1967. Cette expérience et ses qualités de leadership ont fait du Canada l'un des plus sérieux candidats pour le développement de la solution technologique nécessaire à la réalisation des éléments du réseau.

Les méthodes conventionnelles de construction de surfaces collectrices étant trop dispendieuses pour une surface de cette dimension, une variété de nouveaux concepts sont actuellement en développement partout dans le monde. La proposition du Canada est le GRAC, une façon économique de construire de grands radiotélescopes individuels en guise d'éléments individuels du réseau. Le concept consiste en un réflecteur relativement plat et déformable, ou adapt-



**Figure 4.3:** En haut à gauche : image conceptuelle du GRAC montrant le parcours des ondes radio en provenance d'une source distante, puis réfléchies vers le récepteur radio supporté par l'aérostat. En haut à droite : tests menés à l'OFR avec l'aérostat prototype pour le support du réseau plan-focal. En bas à gauche : section prototype du réflecteur. En bas à droite : assemblage des treuils servant au contrôle de la position de l'aérostat.

Image et photos: CNRC-IHA.

able, situé au sol et possédant une longueur focale extrêmement grande. Le plan focal est situé plusieurs centaines de mètres au-dessus du sol, où un réseau plan-focal et des récepteurs recueillent et traitent les signaux. Le réseau plan-focal serait posé sur une plate-forme supportée par un aérostat retenu par câbles. Les recommandations du PLT appuyaient fortement la tentative canadienne de devenir un chef de file du projet en misant sur l'adoption éventuelle du GRAC comme design pour le SKA.

Ces réalisations concordent avec les recommandations du PLT. La conception et le développement du GRAC, ou études de phase B, ont considérablement progressé. Le consortium international du SKA compte le GRAC parmi les deux designs qui soient près de rencontrer toutes les conditions selon lesquelles le SKA nous permettrait d'atteindre les performances scientifiques fixées. La figure 4.3 illustre les progrès considérables accomplis au cours des études de phase B, incluant la construction et la mise en service d'un segment prototype du réflecteur, d'un aérostat et d'un système de treuils pour le contrôle de l'aérostat.

Le CRMP réitère le ferme appui du CPLT à une participation canadienne au projet du SKA. Il félicite de plus l'équipe de développement du concept canadien pour le SKA pour l'élaboration ingénieuse du GRAC, qui s'est avéré l'une des options de tête pour le SKA. Comme le CPLT, le comité souligne le fait que si le concept du GRAC était choisi pour la réalisation du SKA, il s'agirait d'un énorme potentiel de leadership pour le Canada. Quoi qu'il arrive, le Canada a avantage à participer au projet du SKA dans le futur et une décision à cet effet devrait être fondée sur les intérêts scientifiques et sur les compétences canadiennes dans la technologie requise. Le CRMP reconnaît qu'il faut soutenir le développement de cette technologie, incluant le concept du GRAC, et recommande fortement qu'on trouve les ressources nécessaires pour compléter les études de phase B.

Le montant requis pour compléter le travail de développement du GRAC dans le cadre des études de phase B est d'approximativement 9,5 millions de dollars. Les travaux en sont à une étape critique et un financement qui ne serait pas régulier pourrait avoir de graves conséquences. Ce projet doit se voir accorder tous les fonds nécessaires pour être achevé à temps pour la sélection du design du SKA. Selon le calendrier préparé par le Comité de direction scientifique du SKA, la sélection du design pour les éléments du SKA aura lieu en 2008, et la construction débutera en 2012. Il serait d'ailleurs important, tandis que la définition du projet se précise, de nous assurer que nos activités pourront se poursuivre au-delà des études de phase B. Si le concept du GRAC est choisi, le Canada sera probablement chargé de construire un prototype complet. Si le GRAC n'est pas sélectionné, le Canada devrait quand même participer au développement de composants prototypes alternatifs pour le SKA, basés sur d'autres résultats des études de phase B ou d'autres domaines de son expertise en instrumentation pour la radioastronomie. Parmi les domaines possibles, on compte les sources de réseaux plan-focal, les technologies de mise en forme de faisceaux, de même que les technologies pour la transmission de données sur de grandes largeurs de bandes, les corrélateurs et le traitement de données. Le CRMP recommande l'allocation de 15 millions \$ CAN au développement d'un prototype suite à la sélection du design pour le SKA.

Le projet du GRAC est un exemple éloquent de la réalisation d'une idée novatrice résultant d'une collaboration entre le gouvernement, les universités et l'industrie : le CNRC-IHA a développé le concept et l'électronique et a procédé au testage, l'Université McGill a développé la technologie pour l'aérostaf, et AMEC Dynamic Structures Ltd a développé le réflecteur et les actuateurs.

En résumé, le CRMP émet les recommandations suivantes concernant le SKA et le GRAC:

**Le CRMP réitère fermement** la recommandation du CPLT à l'effet que le Canada se prépare à jouer un rôle de leader dans le projet international du SKA.

**Le CRMP recommande fortement** que les études de phase B, qui doivent mener à une conception finale pour le GRAC, bénéficient d'un appui assurant leur réussite à temps pour la sélection de la conception finale du SKA par le consortium international du SKA. Les études de phase B devraient être considérées prioritaires en ce qui concerne les projets de moyenne envergure.

**Le CRMP recommande** que le CNRC-IHA prévoie une participation à la construction de prototypes de composantes du SKA dès que la technologie choisie aura été identifiée. Il pourrait s'agir soit d'un élément d'antenne d'après le concept du GRAC, si ce concept est sélectionné, soit d'autres composantes telles que conçues lors des études de phase B ou utilisant toute autre expertise du domaine de l'instrumentation pour la radioastronomie.

#### **(b) Très grand télescope optique (Very Large Optical Telescope – VLOT)**

Les recommandations suivantes concernant le VLOT ont été émises par le CPLT en janvier 2001, en remplacement des recommandations du PLT original. Ces modifications ont été apportées suite aux développements survenus du côté du projet pour le télescope WF8m et à l'avancement des travaux de conception pour le VLOT, en cours partout dans le monde.

**Le CPLT recommande fortement** qu'une équipe soit rapidement mise sur pied pour étudier les concepts d'un Très Grand Télescope Optique (Very Large Optical Telescope - VLOT). Cette équipe devrait faire en sorte que le Canada joue un rôle critique dans la conception et la construction d'un VLOT de diamètre de 20-30 mètres. Ce télescope devrait être conçu, construit et exploité en coopération avec des partenaires internationaux. Ce projet devrait être l'une des principales priorités parmi les projets de taille moyenne. L'équipe de conception devrait être chargée de travailler de façon simultanée au design d'un futur Extrêmement grand télescope optique (Extremely Large Optical Telescope – ELOT), beaucoup plus grand que le VLOT, et dont la réalisation serait prévue pour plus tard au cours de ce siècle. Tel que documenté dans le PLT, ces démarches sont essentielles à la participation continue du Canada au développement à long terme d'observatoires mondiaux.

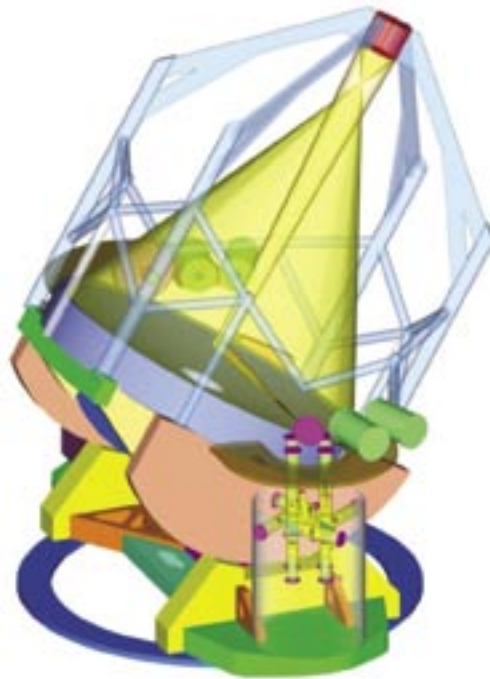
La poursuite impérieuse du projet du TMT se justifie par sa pertinence scientifique, par l'expertise reconnue du Canada dans la conception de grands télescopes et par l'évaluation extrêmement favorable de la FCI.



**Le CPLT recommande** que le projet WF8m présenté dans le PLT soit abandonné au profit du VLOT, de plus grand diamètre. Les fonds préconisés dans le PLT pour le WF8m, notamment les fonds destinés à sa conception, sa construction et son exploitation, devraient être réaffectés à la construction d'un VLOT de diamètre de 20-30 mètres.

**Le CPLT recommande** que jusqu'à la moitié du fonds de développement de prototypes préconisé par le PLT soit affectée à la conception et à la construction du VLOT, si telle était la recommandation d'un examen rigoureux de mi-parcours.

Le CNRA-IHA a procédé, tel que recommandé par le PLT, à une étude de conception très réussie pour le VLOT. Un livre de projet pour le VLOT (*VLOT Project Book*), qui expose la vision canadienne de la conception d'un télescope de vingt mètres, est paru en octobre 2003 et a été distribué à 400 exemplaires. Le projet a par la suite connu une progression plus rapide que prévu et les objectifs du PLT concernant le VLOT ont été atteints et même surpassés. Le Canada s'est engagé comme partenaire au sein du projet du TMT. La figure 4.4 montre l'un des concepts envisagés pour le TMT et basé sur les études de conception pour le VLOT menées au Canada.



**Figure 4.4:** Concept possible pour le TMT, basé sur une modélisation assistée par ordinateur de André Anthony, du CNRC-IHA. Le miroir primaire au bas du tube du télescope a un diamètre de trente mètres. On peut se faire une idée de l'échelle en sachant que la hauteur d'une personne équivaut ici à la moitié du diamètre du trou central du miroir primaire.

Dessin: CNRC-IHA.

L'implication canadienne dans le projet du TMT est prise en charge par ACURA et le CNRC-IHA, qui forment actuellement un partenariat paritaire avec Caltech, l'UC et l'AURA. Cet arrangement accorde 25% de part du projet au Canada. Cette proportion est comparable à celles des participations canadiennes aux deux autres installations optiques internationales : le Canada est partenaire à 15% de chacun des télescopes de Gemini et à 42,5% du Télescope Canada-France-Hawaii. Le CRMP est d'avis que la proportion exacte de la part du Canada importe peu, tant qu'elle est équivalente à celles des autres partenaires majeurs. Un partenariat paritaire est en effet important pour assurer aux astronomes canadiens un accès au télescope suffisant pour maximiser les bénéfices scientifiques et techniques du Canada dans cette entreprise, de même que pour lui accorder une influence proportionnelle dans la gestion du projet.

Les buts scientifiques du TMT comprennent l'imagerie de planètes extra-solaires, la découverte des premières sources de lumière (c'est-à-dire des premières étoiles massives) de l'univers, la compréhension de la formation des étoiles, des planètes et des galaxies et la compréhension de la nature de la matière sombre et de l'énergie sombre cosmologiques. Tel que mentionné au chapitre 3, le TMT, le TSW, ALMA et le SKA sont des instruments hautement complémentaires. Lorsqu'il sera en pleine exploitation, dans le courant de 2015, le TMT sera le meneur incontesté de tous les télescopes optiques/infrarouges au sol du monde.

Le TMT est un très grand projet international et représente pour le moment la toute première conception d'un VLOT. Il a d'ailleurs de bonnes chances d'être le premier en opération. La DDP, première grande phase de développement du télescope qui devrait s'étendre sur quatre ans, implique actuellement plus de 60 personnes dans le partenariat total. Les bureaux du projet international sont situés à Pasadena, et tout le personnel devrait être en poste à la fin de l'année 2004. Les coûts de cette phase du projet, partagés également entre les quatre partenaires, sont de 70 millions USD. La Moore Foundation a octroyé un total de 35 millions USD à Caltech et à l'UC, et l'AURA a présenté une importante demande de subvention à la NSF pour sa participation à la DDP. Au Canada, il est prévu que plusieurs organismes seront impliqués dans la DDP, dont l'UBC (ingénierie des structures et instrumentation en collaboration avec AMEC Dynamic Structures Ltd., basés à Port Coquitlam, C.-B.), le CNRC-IHA (optique adaptative en collaboration avec l'University of Victoria, développement logiciel pour l'observatoire, modélisation intégrée et testage du site en collaboration avec le TCFH et l'UBC, dynamique des fluides numérique en collaboration avec l'Institut de recherche aérospatiale du CNRC), l'Université de Montréal (optique adaptative et instrumentation) et l'University of Toronto (siège administratif, centre scientifique canadien et dynamique des fluides numérique). Comme dans le cas du projet du GRAC, la participation canadienne au VLOT/TMT est un exemple éloquent de l'émergence d'une idée novatrice résultant d'une collaboration entre le gouvernement, les universités et l'industrie.

La demande de subvention pour une participation canadienne à 25% au projet a été évaluée très favorablement par la FCI, qui a accepté les grandes lignes

du projet en attendant que soit élaborée une planification complète comprenant la phase d'exploitation. Si la formulation finale du projet était acceptée, la FCI pourrait lui allouer jusqu'à 50 millions \$ CAN, somme conditionnelle à l'obtention de fonds correspondants équivalents à 60% de sa contribution, pour un total de 125 millions \$ CAN. Cette somme représente la moitié du budget total de 250 millions de \$ CAN requis pour une participation canadienne au projet jusqu'à la phase d'exploitation prévue pour 2015.

Les sommes dépensées jusqu'à maintenant dans le cadre du PLT pour le VLOT sont de 0,18 millions de dollars pour la période 2001-2002, 1,5 millions de dollars pour la période 2002-2004 et de 1,56 millions de dollars pour la période 2004-2005. La participation canadienne à la DDP représente 25 millions \$ CAN pour la période 2004-2008. L'allocation de fonds dans le cadre du PLT arrivant à son terme le 31 mars 2005, il faudra bientôt s'attacher à trouver les 25 millions \$ CAN nécessaires à la participation canadienne à la DDP. La FCI a accepté d'allouer à ACURA des fonds provisoires de 10 millions de dollars, conditionnels à l'obtention de fonds correspondants de 6 millions de dollars.

Selon l'échéancier du projet du TMT, une révision de la définition conceptuelle doit être menée en avril 2006, la construction doit commencer en 2008, la première lumière des premiers segments devrait être obtenue en 2014 et l'installation devrait être en opération complète en janvier 2015. La participation canadienne aux fonds d'exploitation, qui sera requise à compter de cette période, est estimée à environ 25 millions \$ CAN par année. Ce montant contraste avec les dépenses courantes du Canada en fonds d'exploitation pour l'astronomie, soit environ 11 millions de dollars, ou 15 millions de dollars à partir de 2010 alors que ALMA entrera en opération. Même en tenant compte de la possibilité que certaines dépenses du Canada pour l'exploitation d'autres installations existantes soient réduites ou même suspendues, il est clair que de nouveaux fonds d'exploitation seront nécessaires pour que le Canada puisse participer au TMT.

Le CRMP est convaincu qu'une participation au projet du TMT doit être considérée comme le moyen le plus efficace pour le Canada d'occuper, aux côtés de ses partenaires, un rôle de meneur international dans les programmes scientifiques rattachés au VLOT. Le Canada a la possibilité d'occuper, dans ce projet, une place importante tant du point de vue scientifique que du point de vue technique. Il est par exemple acquis, de par les investissements qu'il a planifiés, que le Canada produira au moins un des composants structuraux majeurs, l'enceinte du télescope, de même qu'un instrument de pointe, en plus d'apporter d'autres contributions tout au long de la réalisation du projet. La sélection du design de référence a été basée en partie sur des études menées par une équipe canadienne d'ingénieurs au CNRC-IHA et par AMEC Dynamic Structures Ltd. Ceci témoigne éloquentement de la confiance accordée à l'équipe canadienne et est une conséquence directe des études canadiennes pour le VLOT menées jusqu'à maintenant.

Pour résumer, les fonds pour dépenses en capital requis pour ce projet sont de 25 millions \$ CAN pour la DDP et d'environ 225 millions \$ CAN pour la construction. La FCI a alloué une somme de 4 millions de dollars, conditionnelle à l'obtention de fonds correspondants de 6 millions de dollars additionnels pour les deux premières années de la DDP, et un montant additionnel de 15 millions \$ CAN sera bientôt requis pour poursuivre la DDP jusqu'en 2008. La poursuite impérative du projet du TMT est justifiée par sa pertinence scientifique, par l'expertise reconnue du Canada dans la conception de grands télescopes et par l'évaluation extrêmement favorable de la FCI. En conséquence, le CRMP fait les recommandations suivantes:

**Le CRMP réitère fermement** la recommandation initiale du CPLT à l'effet que le Canada se positionne de façon à assumer un rôle directeur au sein du projet international pour le VLOT. Le CRMP préconise fortement qu'une participation au projet du TMT soit reconnue comme le moyen le plus efficace pour le Canada de s'assurer cette position.

**Le CRMP recommande fortement** que la phase de conception détaillée pour le projet du TMT reçoive le financement adéquat pour que le Canada soit en mesure de satisfaire ses obligations en tant que partenaire paritaire. Cette recommandation devrait être considérée prioritaire pour ce qui est des projets de moyenne envergure. La FCI s'est engagée de façon provisoire et conditionnelle à l'obtention de fonds de contrepartie. On prévoit que les gouvernements de l'Ontario et de la Colombie-britannique s'engageront bientôt en ce sens. Des fonds correspondants devraient aussi être alloués au besoin par le CNRC-IHA, de façon à assurer la poursuite de la réalisation de ce projet tel que planifié.

**Le CRMP recommande fortement** que la priorité du côté du soutien financier à un nouvel observatoire mondial soit accordée à l'établissement d'une participation canadienne au projet du TMT qui soit équivalente à celle des autres partenaires principaux.

#### 4.4 Observatoires nationaux et internationaux

La définition d'installations internationales est ici la même que dans le PLT : il s'agit des observatoires construits dans le cadre de partenariats regroupant un nombre restreint de pays. Ces observatoires ne sont généralement pas de calibre comparable à celui des observatoires mondiaux, mais se distinguent tout de même de par certaines caractéristiques qui leur sont uniques. Le Canada participe actuellement à plusieurs observatoires spatiaux dont Herschel/Planck, à trois installations internationales au sol soit Gemini, le TCFH et le TJCM, et à deux observatoires au sol nationaux, nommément l'OFR et l'OFA.

##### A. Observatoires spatiaux

Certaines régions du spectre électromagnétique ne peuvent être observées à partir d'installations au sol. En conséquence, une part substantielle de la recherche en astrophysique doit inévitablement impliquer des observations

obtenues à l'aide d'installations spatiales. L'apport de l'astronomie spatiale à nos connaissances de base est important. Il aurait d'ailleurs été impossible de prévoir, à partir de données obtenues à partir du sol, les nouveaux défis que l'astronomie spatiale a fait émerger. Les astrophysiciens canadiens ne pourront conserver une compétitivité internationale que s'ils ont accès à des observatoires spatiaux, s'ils ont la possibilité de participer à des missions spatiales liées à leurs priorités astrophysiques et s'ils peuvent y occuper des rôles directeurs. Soulignons de plus que les télescopes spatiaux et les résultats qui y sont obtenus, lorsqu'ils sont bien vulgarisés, bénéficient d'un grand intérêt de la part du grand public. Ils sont d'excellents incitatifs pour amener les jeunes à considérer une carrière en sciences et en génie et répondent à la curiosité du grand public pour l'astronomie en général.

Depuis sa création en 1989, l'ASC a fourni aux astronomes canadiens une variété de nouvelles opportunités dans des domaines de longueurs d'onde allant de l'ultraviolet au domaine radio. Le Canada est présentement impliqué, par l'entremise de l'ASC, dans plusieurs projets de l'astronomie spatiale dont le TSJW, qui a été présenté plus haut. À l'époque de l'élaboration du PLT, qui s'est terminée il y a cinq ans, et alors que l'ASC avait moins de dix ans, les astronomes canadiens étaient déjà pleinement engagés dans les missions FUSE, VSOP et BAM. Cinq ans plus tard seulement, les projets MOST et BLAST sont en cours et les astronomes canadiens planifient leur participation aux projets Herschel/Planck et TSJW.

Le CPLT a fait les recommandations suivantes concernant la mission Herschel/Planck, précédemment FIRST/Planck, et les VLBI spatiaux:

**Le CPLT recommande** que le Canada, par l'intermédiaire de l'ASC, participe à la mission spatiale FIRST/Planck.

**Le CPLT recommande** que le Canada maintienne une présence constante dans les programmes VLBI spatiaux, par l'intermédiaire des programmes de l'ASC.

Le CRMP constate avec satisfaction que conformément à la recommandation du PLT, le Canada s'est impliqué de façon importante dans la mission Herschel/Planck. Le CRMP, au nom de la communauté astronomique, exprime son appréciation à l'ASC, qui a rendu possible cette participation.

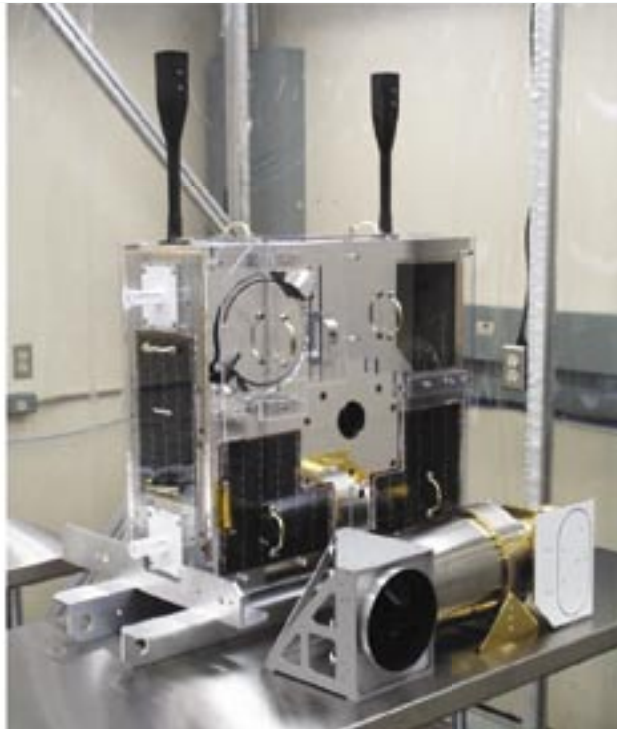
Le CRMP est heureux de constater que le Canada, par l'intermédiaire de l'ASC, participe à un nombre croissant d'autres observatoires astronomiques spatiaux. Notons cependant que le Canada s'est retiré du projet VSOP. Les projets au sein desquels le Canada est actuellement engagé comprennent:

- MOST: un mini-satellite entièrement canadien dont la très petite charge utile est conçue pour détecter et analyser les oscillations stellaires; MOST a été lancé en 2003 et est entièrement opérationnel;
- FUSE: une mission dirigée par la NASA et au sein de laquelle le Canada est engagé de façon importante; elle est conçue pour des observations spec-

**Le CRMM réitère fortement la recommandation du PLT à l'effet que le Canada participe à la mission Herschel/Planck, de même qu'à d'autres missions spatiales très prometteuses.**

troscopiques dans le domaine ultraviolet de gaz chaud dans les halos de galaxies, dans les amas de galaxies, dans le halo de la Voie Lactée, le milieu interstellaire, de même que dans les disques et les débris autour des étoiles jeunes; le satellite lancé en 1999 est toujours entièrement opérationnel, soit bien au-delà de sa durée de vie prévue;

- ODIN: une mission dirigée par la Suède et au sein de laquelle le Canada est engagé de façon importante; elle a été conçue pour l'étude de la composition chimique et des caractéristiques physiques du gaz interstellaire et des atmosphères de planètes géantes, de même que pour l'étude de la formation stellaire dans les galaxies proches; elle a été lancée en 2001 et est entièrement opérationnelle;
- BLAST: un projet multinational impliquant des chercheurs canadiens et visant à faire des relevés galactiques et extragalactiques d'une sensibilité sans précédent dans le domaine submillimétrique, à l'aide d'équipement porté par ballon; des tests de vols ont été menés avec succès en 2003.



**Figure 4.5:** Photo de MOST avant son lancement en 2003. Ce petit télescope a été construit selon une technologie innovatrice développée par Dynacon, Inc. (Ontario), le University of Toronto Institute for Aerospace Studies et le département de physique et d'astronomie de l'University of British Columbia, et grâce au soutien financier de l'Agence spatiale canadienne.

Photo : ASC et l'équipe du satellite MOST.

La figure 4.5 montre MOST avant son lancement le 30 juin 2003. Ce petit satellite a déjà livré une pléthore de renseignements sur les subtiles fluctuations lumineuses révélant des oscillations stellaires de l'ordre de la minute. Ces oscillations témoignent de la structure interne d'une étoile d'une manière analogue à ce que nous révèlent les tremblements de terre sur la structure interne de la Terre. Le CRMP salue le soutien apporté par l'ASC à cette mission. Le CRMP recommande de plus que soit maintenu le financement de toutes les missions spatiales susmentionnées pour que nous obtenions les bénéfices scientifiques attendus en retour de nos investissements. De plus, ces missions fourniront d'excellents environnements d'apprentissage dans le domaine de l'instrumentation pour les futurs scientifiques et ingénieurs canadiens.

Le CRMP note finalement que l'intérêt et les compétences canadiens en astrophysique des hautes énergies ont connu une nette croissance depuis la parution du PLT. Au moins neuf postes universitaires ont été attribués au Canada à des chercheurs de ce domaine au cours des quatre dernières années. De plus, trois des quatorze chaires de recherche du Canada accordées en astronomie appartenaient au domaine de l'astrophysique des hautes énergies. Cet intérêt croissant pourrait amener une augmentation du nombre de scientifiques en astronomie spatiale, et donner naissance à une nouvelle branche de l'astronomie spatiale au Canada.

En vertu de ce qui précède,

**Le CRMP réitère fermement** la recommandation du CPLT à l'effet que le Canada participe à la mission Herschel/Planck, et **salue** l'ASC pour son engagement soutenu à promouvoir la participation du Canada à cette mission et à d'autres missions spatiales très prometteuses.

## B. Observatoires internationaux au sol

### (a) Gemini

Le PLT exprime la recommandation suivante concernant les observatoires internationaux au sol :

**Le CPLT réitère fermement** l'engagement du Canada envers le projet Gemini au cours de la prochaine décennie. Le projet Gemini devrait recevoir la plus haute priorité pour ce qui est des subventions d'exploitation et de soutien pour nos observatoires internationaux.

Lors de la révision du PLT de janvier 2001, la recommandation du PLT original concernant le WF8m a été remplacée par la recommandation d'abandonner le projet du WF8m au profit de celui du VLOT. La recommandation originale ne sera donc pas réécrite ici.

Le projet Gemini a débuté à la fin des années 80. Gemini est une organisation internationale responsable de la construction et de l'exploitation de deux télé-

scopes jumeaux de huit mètres, l'un situé à Hawaii et appelé Gemini Nord, l'autre situé au Chili et appelé Gemini Sud. Le projet Gemini, avec ses deux télescopes établis chacun dans un hémisphère, est le seul projet d'observation impliquant des télescopes de 8-10 mètres et donnant accès à l'ensemble du ciel. Ce projet est un partenariat entre les États-Unis (50,1%), la Grande-Bretagne (23,8%), le Canada (15,0%), l'Australie (6,2%), l'Argentine (2,4%) et le Brésil (2,5%). Le Chili comptait parmi les partenaires (5%) jusqu'en l'an 2000. Avec l'accord des autres partenaires, il a alors réaffecté ses apports en capitaux à un fonds en fiducie pour le développement de l'astronomie chilienne. En tant que pays hôte, il a conservé sa part de 10% dans Gemini Sud, mais a libéré sa part de 5%, qui a été absorbée par les autres partenaires. Le Canada a acheté sa part proportionnelle du temps d'observation du Chili à partir de fonds obtenus dans le cadre du PLT et de fonds de la WESTAR Corporation. Les coûts liés à la construction étaient d'environ 1,4 million USD (1 million USD provenant de fonds pour le PLT et 0,4 million USD de WESTAR). L'augmentation des fonds d'exploitation s'élevait à 190 000 USD par année, et a aussi été assumée à partir de fonds accordés au CNRC-IHA dans le cadre du PLT. Le CNRC a aussi apporté une petite contribution monétaire ponctuelle en échange de temps d'observation pour aider le consortium à combler les besoins financiers de l'observatoire.

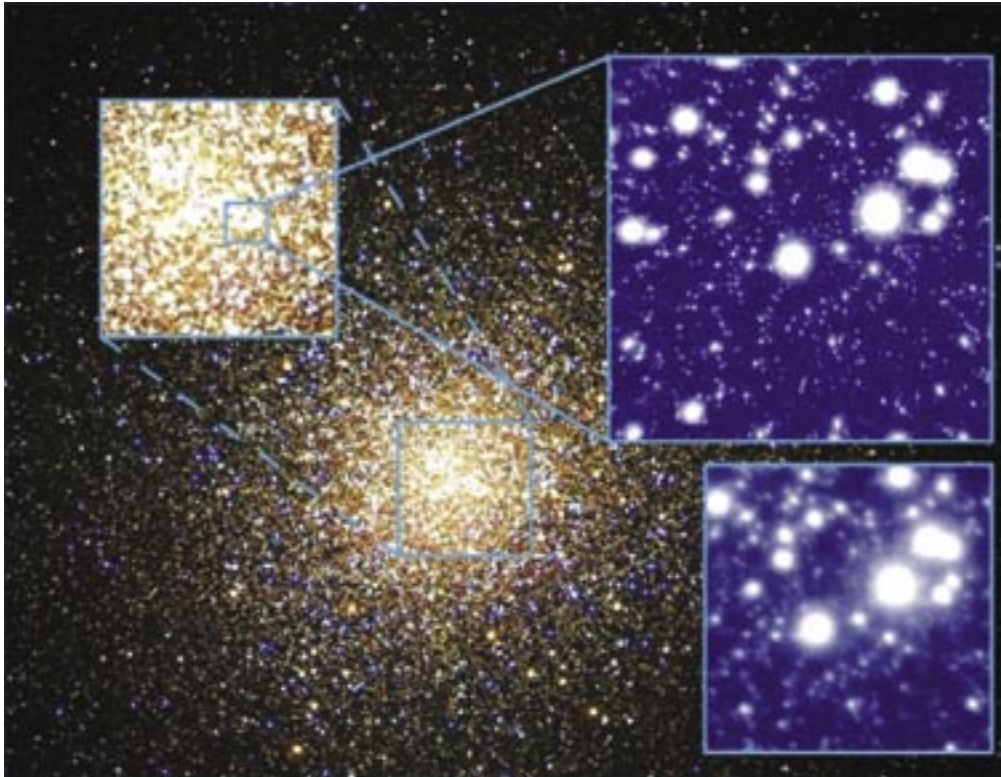
Les instruments de fabrication canadienne installés à Gemini se sont tous avérés fonctionnels et satisfaisants et constituent les chevaux de bataille du télescope, ce qui renforce les arguments en faveur d'une importante participation canadienne au nouveau programme de développement d'instruments de prochaine génération pour Gemini.

Au cours des dernières années, la proportion du temps d'observation à Gemini consacrée à la recherche a atteint les 75% sur les deux télescopes, un niveau considéré acceptable pour une phase de pleine exploitation. Les 25% restants sont consacrés à la mise en service d'instruments, à la maintenance et au développement. Du point de vue du Canada, les faits saillants du projet Gemini pour les cinq premières années du PLT sont, notamment, le système de manie- ment des données et les archives scientifiques de Gemini (développées par le CCDA), le développement de spectro-imageurs GMOS sur les deux télescopes, la mise en service réussie du système d'optique adaptative ALTAIR et la tenue, à Vancouver, de la toute première réunion scientifique de Gemini, en mai 2004. Le CRMP souligne que les instruments de fabrication canadienne installés à Gemini se sont tous avérés fonctionnels et satisfaisants. Ils ont tous été livrés à temps, ont pu être mis en service presque immédiatement et constituent les chevaux de bataille du télescope. Le CNRC-IHA doit être félicité pour ces réalisations. L'une de ces réussites est illustrée à la figure 4.6 : l'utilisation d'ALTAIR, qui corrige les effets de la turbulence atmosphérique, améliore de façon remarquable la résolution des images produites à Gemini.

Les contributions annuelles du PLT aux coûts d'exploitation de Gemini ont totalisé environ 2,4 millions USD, 2,5 millions USD et 1,5 millions USD en 2002, 2003 et 2004, respectivement. Ces montants ont été utilisés pour combler partiellement le manque à gagner dû à l'augmentation des coûts d'exploitation. Le CRMP recommande toutefois qu'une solution permanente soit identifiée pour subvenir aux besoins courants liés à l'exploitation.

Les deux télescopes de Gemini sont exploités en mode « file d'attente » : on procède chaque nuit aux programmes d'observation les plus appropriés aux conditions du moment. Le mode file d'attente de Gemini donne priorité, pour des





**Figure 4.6:** Image de l'ancien amas d'étoiles M13 produite à Gemini Nord à l'aide de la caméra à optique adaptative ALTAIR. La région centrale est très dense. Le médaillon bleu, en haut, montre une image obtenue à l'aide d'ALTAIR. Sa résolution angulaire est de 0,06 seconde d'arc. L'image dans le médaillon bleu du bas a été obtenue sans l'aide d'ALTAIR et présente une résolution de 0,26 seconde d'arc. La résolution angulaire atteinte avec ALTAIR est comparable à la résolution que permet le Télescope spatial Hubble. De telles images permettraient aux astronomes de trouver les étoiles les moins massives de l'amas qui sont en mesure de brûler de l'hydrogène, et de faire ainsi d'importantes découvertes concernant les constituants, l'âge et l'évolution de tels systèmes.

Images: Observatoire Gemini; image à grand champ à l'arrière-plan avec la permission du Télescope/Coelum Canada-France-Hawaii.

conditions d'observation données, aux programmes requérant ces conditions qui ont été les mieux cotés lors du processus de révision par les pairs. Des employés qualifiés de Gemini procèdent alors aux observations de la file d'attente en mode de service, si bien que l'astronome ayant présenté le programme n'est généralement pas présent. L'observation en mode file d'attente permet une utilisation plus efficace du temps de télescope considérant, notamment, la complexité de son instrumentation. Ce mode d'exploitation est, de plus, économique du point de vue des chercheurs et ne perturbe pas les activités d'enseignement des professeurs. En outre, ce procédé force les observateurs à formuler des instructions claires et prudentes pour l'évaluation du moment auquel la qualité

des données est suffisante, ce qui minimise les erreurs de jugement des astronomes visiteurs causées par la fatigue et l'altitude. Le plan de gestion original de Gemini prévoyait que le temps d'observation serait partagé également entre les modes d'observation normal (lorsqu'un observateur se voit assigner une nuit particulière) et file d'attente. Le pourcentage du temps d'observation en mode file d'attente étant, dans les faits, de 75%, la poursuite des observations selon ces proportions nécessitera des fonds d'exploitation supplémentaires. Gemini est actuellement à la recherche de ces fonds, qui seront requis à partir de 2006. La participation canadienne pourrait conséquemment augmenter d'approximativement 1,25 millions \$ CAN par année à partir de 2008.

Gemini est en réel besoin de nouveaux instruments. Le Comité de direction de Gemini a initié, en 2001, le « processus Aspen », qui définit de nouveaux objectifs scientifiques et de développement de nouveaux instruments pour la prochaine décennie. Ce processus était guidé par des objectifs scientifiques et a été mené en concertation avec la communauté. Plusieurs assemblées ont d'abord été organisées dans les pays partenaires afin de prendre connaissance de leurs priorités respectives. L'assemblée canadienne a eu lieu à Montréal en mai 2003 et réunissait environ 25 participants. L'objectif de la réunion de Montréal était de faire en sorte que les opinions et intérêts canadiens seraient bien formulés à l'assemblée internationale devant se tenir à Aspen, au Colorado, en juin 2003. La participation à l'assemblée d'Aspen a été limitée à 90 personnes, de façon à conserver un calibre d'atelier de travail. Il en est ressorti une liste d'instruments fort enthousiasmante :

- **coronographe à optique adaptative extrême** permettant de produire des images, pour la première fois, des planètes situées hors de notre système solaire. Une équipe internationale, dont le Canada fait partie, procède actuellement à une étude de conception pour cet instrument;
- **spectrographe à haute résolution dans l'infrarouge proche**, permettant d'étudier la composition chimique des nuages de gaz de notre Galaxie à partir desquels ou duquel se forment les nouvelles étoiles, les planètes et, possiblement, la vie.

Les études de faisabilité de deux autres instruments sont en cours :

- **spectromètre optique multi-objet à grand champ** permettant d'étudier et de caractériser l'énergie sombre, composant dominant de l'univers qu'on connaît toujours très peu (voir le chapitre 3);
- **système d'optique adaptative pour la couche limite atmosphérique**, qui pourrait permettre d'observer les premières étoiles à s'être formées dans l'univers. Le Canada est engagé dans une étude de faisabilité pour ce dernier instrument.

Les études conceptuelles ou de faisabilité sont financées par des fonds de Gemini destinés au développement d'instrumentation. Le coût total des instruments proposés est d'approximativement 70 millions USD. La participation du

Canada aux coûts de développement des instruments de prochaine génération pour Gemini s'élèvera à environ 15 millions \$ CAN pour la période 2006-2011.

Le CRMP est d'avis que les instruments proposés lors du « processus Aspen » constituent un investissement essentiel pour Gemini. Pour être impliqués dans les enjeux scientifiques décrits au chapitre 3, les télescopes de Gemini doivent être munis de tels instruments. Un système d'optique adaptative performant permettra notamment aux astronomes de tirer parti du plein potentiel des télescopes en bénéficiant d'une grande sensibilité et d'une haute résolution. En effet, si l'ouverture du télescope constitue un facteur important, la façon dont la lumière recueillie est utilisée l'est aussi. Ces instruments, qui ne faisaient pas partie du PLT, sont aujourd'hui justifiés par de réels besoins scientifiques et par le développement à l'échelle mondiale de la technologie pour l'instrumentation astronomique.

Ce programme de développement représente une occasion, pour la communauté universitaire, de s'impliquer de façon importante dans le domaine du développement d'instruments pour l'astronomie. Les groupes de recherche universitaires désirant saisir cette opportunité devront construire les installations nécessaires en utilisant les mécanismes de financement offerts par le CRSNG et la FCI, et devront contribuer directement aux coûts et à la construction des instruments.

Conséquemment, le CRMP fait les recommandations suivantes:

**Le CRMP réitère** la recommandation du CPLT d'accorder à Gemini la priorité pour ce qui est des subventions d'exploitation et de soutien pour nos observatoires internationaux. **Le CRMP recommande** que le Canada appuie le scénario selon lequel les télescopes Gemini seraient surtout exploités en mode « file d'attente » et service.

**Le CRMP appuie fermement** la participation du Canada au développement des nouveaux instruments nécessaires pour aborder certaines questions scientifiques de premier plan et d'intérêt général.

#### **(b) Télescope Canada-France-Hawaii (TCFH)**

Le CPLT a fait la recommandation suivante concernant le TCFH:

**Le CPLT recommande** le financement de la caméra MegaPrime et de la caméra infrarouge à grand champ WIRCAM, ces deux instruments étant destinés au TCFH.

Le Canada est partenaire à 42,5% du TCFH. Le TCFH est réputé pour avoir produit les images les plus précises jamais obtenues par un télescope au sol de ce calibre. Selon une étude des fréquences de citation au cours de la période 1991-1998 publiée en 2001 par C.R. Benn et S.F. Sanchez (Publications of the Astronomical Society of the Pacific, vol. 113, pp. 385-396, 2001), le TCFH s'est révélé le télescope le plus productif de sa catégorie, et ce avec une bonne avance. Le TCFH est à présent muni de MegaCam, une caméra optique à grand champ, et on y installera bientôt WIRCam, une caméra infrarouge à grand

champ. Ces deux puissants instruments, recommandés dans le PLT, amélioreront grandement les capacités scientifiques du télescope. Avec plus de 300 millions de pixels, MegaCam est la plus grande caméra d'imagerie astronomique au monde. Elle est entrée en opération en 2003 et demeure la seule caméra au monde permettant d'observer un plein degré carré de ciel (une surface équivalant à quatre pleines lunes) en une seule pose. D'importants projets de recherche sont actuellement menés par de grandes équipes d'astronomes du Canada et de la France, notamment le CFHT Legacy Survey (CFHTLS), qui s'est vu allouer environ la moitié du temps noir et gris avec MegaCam sur cinq ans. Les données recueillies dans le cadre de ce relevé sont utilisées par des astronomes canadiens œuvrant dans une variété de domaines, de la caractérisation de l'expansion de l'univers à la recherche des membres les plus anciens de notre système solaire. Le projet WIRCam est mené en collaboration avec des observatoires de Corée et de Taiwan, qui y ont apporté une participation financière en échange de temps d'observation sur le TCFH. Cet arrangement a permis au CNRC-IHA de réaffecter à Gemini certains fonds octroyés au TCFH dans le cadre du PLT, alors que Gemini faisait face à un urgent besoin de financement.

Le TCFH s'est par ailleurs révélé l'un des meneurs mondiaux dans le développement de la technologie pour l'optique adaptative. Bien que nos efforts dans le domaine de l'optique adaptative soient maintenant centrés sur Gemini, les employés du TCFH continuent, au mieux de leurs ressources, à en améliorer les systèmes.

Les fonds d'exploitation du TCFH constituent actuellement un problème important. Considérant le niveau actuel des activités et le fait que les subventions d'exploitation ont été gelées en 1995, le TCFH fera face à un déficit à partir de 2004. Le Canada a beaucoup investi dans ce télescope, et nous devons faire en sorte de pouvoir continuer à maximiser nos bénéfices en retour de ces investissements. Étant donné la productivité de MegaCam et avec l'achèvement prochain de WIRCam, les objectifs du PLT pour le TCFH seront bientôt atteints. L'exploitation du TCFH devrait être poursuivie tant qu'elle produira des résultats scientifiques convaincants. Les subventions d'exploitation du TCFH devraient ensuite être réaffectées, selon les besoins, à des installations prioritaires. Par conséquent, le CRMP fait la recommandation suivante :

**Le CRMP recommande** que le Canada maintienne sa participation au TCFH aussi longtemps que les résultats scientifiques obtenus grâce à ses nouveaux instruments demeureront probants. Au cours de la décennie cependant, les ressources actuellement investies dans le TCFH pourront être réaffectées, au besoin, à d'autres installations qui seraient jugées prioritaires.

### (c) Télescope James Clerk Maxwell (TJCM)

Le CPLT a fait la recommandation suivante concernant le TJCM:

**Le CPLT recommande** que lorsque nos divers engagements techniques et scientifiques envers le TJCM prendront fin, la priorité soit de réaffecter, s'il y a lieu, au projet ALMA les ressources présentement accordées au TJCM.

Le TJCM est le chef de file mondial des télescopes submillimétriques. Le Canada y dispose de 25% du temps d'observation. Comme pour le TCFH, l'étude de fréquence des citations mentionnée à la section 4.4B(b) montre que le TJCM a été le télescope le plus productif de sa catégorie au cours de la période 1991-1998. La recommandation du PLT reprise ci-haut avait été formulée dans la perspective que les engagements du Canada envers le TJCM prendraient fin avant 2010. Étant donné, d'une part, que le projet ALMA est maintenant entrepris et qu'il faudra bientôt y apporter un soutien à l'exploitation et, d'autre part, que l'entente tripartite pour le TJCM prendra fin en mai 2009, le CRMP est d'avis que la stratégie du PLT est toujours appropriée. Le CRMP note cependant que de nouveaux instruments seront bientôt installés au TJCM et qu'en conséquence, ce dernier demeurera à la fine pointe de l'astronomie submillimétrique. Le réseau plan-focal hétérodyne à 16 éléments HARP-B, une caméra spectroscopique à grand champ pour l'observation des atomes et des molécules du gaz interstellaire tiède, est attendu en 2005. SCUBA-2, la caméra submillimétrique à grand champ la plus puissante au monde qui permettra de cartographier l'émission des grains de la poussière cosmique, est attendue quant à elle en 2006. SCUBA-2 sera mille fois plus puissante que sa prédécesseur SCUBA. Cette dernière, elle aussi installée au TJCM, est en partie responsable du succès et de la renommée mondiale du TJCM. C'est l'importance scientifique du TJCM et le travail de soutien de son équipe qui ont entraîné une telle demande, tant de la part des radioastronomes que d'autres astronomes du monde entier.

Le développement de SCUBA-2 est le projet le plus captivant de l'astronomie submillimétrique au sol actuelle. Cet instrument permettra d'étudier l'évolution des galaxies à l'époque de la formation des premières d'entre elles. Ces galaxies éloignées sont très lumineuses dans le domaine de l'infrarouge lointain et présentent un grand décalage vers le rouge causé par l'expansion de l'univers. Le développement de SCUBA-2 est l'œuvre d'un consortium international comportant une importante représentation des universités canadiennes, ceci grâce à une subvention de la FCI. Bien que ce projet soit apparu trop tard pour être inclus dans le PLT, il importe d'en tenir compte aujourd'hui. L'instrument sera bientôt complété et produira des relevés susceptibles de transformer notre connaissance de l'univers à ses débuts. De son côté, HARP-B permettra la cartographie de l'émission submillimétrique des molécules se trouvant dans des régions chaudes et denses, et ce sur de grandes régions, dans la Voie lactée et au-delà. Cet instrument constituera un puissant outil pour l'exploration des régions denses et chaudes de l'univers moléculaire.

Le CRMP est d'avis que les opérations du TJCM devraient être maintenues au-delà du temps qui avait été prévu, de façon à ce que les astronomes puissent profiter des nouvelles possibilités scientifiques offertes par ces deux nouveaux instruments. Une décision finale concernant la fin de l'engagement envers le TJCM ne devrait donc être prise qu'après qu'on aura effectué une évaluation complète de la valeur scientifique de ces instruments, et plus particulièrement de SCUBA-2. En conséquence, le CRMP fait la recommandation suivante:

**Le CRMP réitère** la recommandation du CPLT à l'effet que l'implication canadienne au TJCM prenne fin à mesure que nos divers engagements techniques et scientifiques seront remplis et que les ressources soient réaffectées au projet ALMA. **Le CRMP recommande** également que la date de fin de l'engagement canadien envers le TJCM ne soit définitivement fixée qu'après une évaluation complète de la valeur scientifique de SCUBA-2 et l'examen des bénéfices éventuels d'une extension de quelques années de l'engagement canadien envers ce télescope.

## C. Observatoires nationaux au sol

### (a) L'Observatoire fédéral de radioastronomie (OFR)

Le CPLT a fait la recommandation suivante concernant l'OFR:

**Le CPLT recommande** que le Relevé canadien du plan galactique (Canadian Galactic Plane Survey, CGPS), à l'OFR, soit prolongé jusqu'en 2005.

L'OFR, une installation du CNRC et de l'IHA, est responsable d'un programme de radioastronomie qui remporte un grand succès et qui inclut le CGPS, le développement d'un corrélateur WIDAR pour le EVLA et le développement du GRAC pour le SKA. L'OFR a aussi beaucoup contribué à la formation d'étudiants universitaires en science et en génie. Des fonds ont été accordés à l'OFR dans le cadre du PLT pour que soit préservé le calibre du groupe de radioastronomie, plus particulièrement dans le domaine de la conception de corrélateurs. Le CRMP considère que cette aide devrait être maintenue, tel que recommandé à la section 4.3A(a).

Le CGPS, qui s'est révélé une grande réussite, a apporté beaucoup à notre compréhension du milieu interstellaire galactique. Ce projet a servi de modèle pour l'élaboration de projets semblables dans d'autres pays et a mené à une collaboration internationale connue sous le nom de Relevé international du plan galactique (International Galactic Plane Survey – IGPS). Il a de plus favorisé l'établissement de collaborations extensives entre le CNRC et plusieurs universités, et a contribué à la formation des futurs radioastronomes canadiens. Le CPLT a recommandé que le CGPS soit poursuivi à l'OFR jusqu'en 2005. L'allocation actuelle accordée au CGPS dans le cadre du PLT est suffisante pour compléter la portion du projet inclus dans la planification initiale et aucun fonds supplémentaire n'est requis de ce côté. L'équipe du CGPS a cependant l'intention de compléter le relevé pour la section restante du plan galactique accessible de l'OFR et de fusionner les trois relevés interférométriques internationaux (de même que les relevés CO du FCRAO) en une seule base de données et une seule image de la Voie lactée. Cette mission fait partie d'un projet mené en collaboration avec des scientifiques qui utiliseront le télescope Herschel. Ce projet étendu du IGPS devrait durer jusqu'en 2007. Le comité appuie la poursuite du projet jusqu'en 2007 et recommande que l'aide du PLT se poursuive jusqu'à ce que cette phase soit complétée.

**Le CRMP recommande** que le financement déjà octroyé par le CNRC pour le CGPS soit maintenu au niveau actuel jusqu'en 2007, de façon à permettre la réalisation de l'extension du relevé proposée dans le cadre du Relevé international du plan galactique.

#### **(b) Observatoire fédéral d'astrophysique (OFA)**

Le CPLT a présenté la recommandation suivante en ce qui concerne les télescopes de l'OFA:

**Le CPLT recommande** que l'on accorde une aide à l'exploitation des deux télescopes de l'OFA (1,2 et 1,8 mètre) pendant la prochaine décennie. On devrait assurer à ces deux installations le personnel et le soutien additionnels requis pour en maintenir la productivité scientifique.

Le financement accordé pour les télescopes de l'OFA dans le cadre du PLT, bien que modeste, s'est avéré d'une très grande utilité. Les Canadiens reçoivent d'importantes allocations de temps à ces télescopes pour des observations à long terme, des projets de thèse ou pour la vérification de nouveaux instruments. Le télescope de 1,8 mètres de Plaskett a pour sa part joué un important rôle de vulgarisation et d'éducation auprès du grand public. Le PLT a recommandé un financement de 100 000 \$ par année, et 50 000 \$ ont été accordés. De ce montant, 25 000 \$ ont servi à l'embauche de deux étudiants en génie participant au Programme d'enseignement coopératif, d'un machiniste à court terme et d'un programmeur IRAF. Environ 15 000 \$ par année ont servi à des opérations de revitalisation. Un refroidisseur à cycle fermé pour les instruments a permis d'améliorer la sécurité et l'efficacité opérationnelles, et le spectrographe Herzberg, récemment de retour du TCFH, sera prochainement relié par fibre optique au télescope Plaskett de façon à permettre des transitions rapides entre les modes imageur et spectroscopique. Le télescope de 1,2 mètres a lui aussi été productif. Il a notamment permis de réaliser un programme d'observation de 30 nuits pour compléter des observations de MOST. Ce télescope a lui aussi pu être amélioré grâce à l'aide financière limitée reçue dans le cadre du PLT.

Les deux télescopes sont toujours productifs d'un point de vue scientifique et méritent d'être appuyés financièrement. Le CRMP recommande que les deux télescopes bénéficient de cette aide.

**Le CRMP recommande** que soit maintenue l'aide financière octroyée par le PLT pour le rehaussement des capacités scientifiques des télescopes de l'OFA.

## **4.5 Ressources humaines**

Le PLT contient les recommandations suivantes concernant les ressources humaines:

**Le CPLT recommande fortement** que l'IHA engage au moins six astronomes additionnels de fort calibre, tout en recrutant de nouveaux techniciens. Ces

postes constituent l'une des priorités du financement des ressources humaines. Il faut rebâtir de manière concertée les effectifs à l'IHA, afin de faciliter la participation du Canada aux futurs observatoires mondiaux et de respecter nos engagements internationaux actuels. L'IHA doit accroître son leadership scientifique afin de jouer un plus grand rôle en recherche de pointe.

**Le CPLT recommande** que l'ICAT reçoive les ressources financières, humaines et informatiques requises pour rehausser sa position de centre de recherche en astrophysique comptant parmi les principaux au monde.

**Le CPLT recommande fortement** que l'on crée des laboratoires universitaires en astrophysique expérimentale. Cette recommandation est l'une des plus prioritaires pour ce qui est des projets de taille moyenne. Ces laboratoires pourraient être soutenus par le CRSNG et par d'autres organismes. Les universités hôtes devraient s'engager à fournir l'infrastructure requise et à créer des postes de professeur.

**Le CPLT recommande fortement** que soient établies des bourses postdoctorales internationales de haut niveau, un peu comme les bourses Hubble Fellows de la NASA. Cette recommandation est l'une des plus prioritaires pour le financement des nouveaux chercheurs. On pourrait établir deux nouveaux programmes de bourse :

1. Le CRSNG et l'ASC devraient établir conjointement un nouveau programme postdoctoral offrant au moins six bourses d'une durée de trois ans, attribuées à l'issue d'un concours international de très haut niveau, ouvert aux Canadiens et aux étrangers. Ces bourses devraient être détenues dans toute université canadienne ou à l'ICAT.
2. Parallèlement, le CNRC devrait établir un nouveau programme de bourses Herzberg, offrant en tout six bourses de recherche postdoctorales d'une durée de trois ans, devant être détenues dans tout observatoire ou laboratoire astronomique du CNRC.

**Le CPLT recommande** que le CRSNG continue de soutenir l'excellent programme postdoctoral de l'ICAT, qui a fait ses preuves. Le CRSNG devrait également accroître les fonds totaux alloués à son programme de subventions de fonctionnement, afin de permettre aux astronomes canadiens de premier plan d'embaucher un stagiaire postdoctoral dans leurs groupes de recherche.

Le CRMP aimerait souligner que malgré un certain progrès, la plupart des recommandations ayant trait au personnel, bien qu'exceptionnellement vitales, n'ont toujours pas mené à des actions concrètes.

Plusieurs jeunes chercheurs d'excellent calibre ont été engagés au CNRC-IHA, en partie grâce à de l'aide financière reçue dans le cadre du PLT, et en partie grâce au programme Nouveaux Horizons nouvellement mis sur pied par le CNRC. Au lieu de constituer un financement de base tel que préconisé par le



PLT, ce dernier programme permet d'assurer une continuité d'expertise sur trois ans en prévision de futures retraites.

On rapporte par ailleurs, depuis la parution du PLT, plusieurs développements positifs du côté de la seconde recommandation sur les ressources de l'ICAT. L'aide financière du CRSNG pour les programmes institutionnels et nationaux a été substantiellement augmentée lors du processus compétitif de réallocation des fonds. Deux professeurs supplémentaires ont été embauchés pour l'ICAT par l'University of Toronto, l'université hôte de l'Institut. Le Programme de cosmologie et gravité de l'Institut canadien de recherches avancées, auquel l'ICAT participe de façon importante, a été reconduit. Des ressources informatiques haute performance ont pu être installées grâce à une subvention de la FCI. Cette aide a permis à l'ICAT d'améliorer sa position en tant que centre de recherche en astrophysique de calibre mondial.

La troisième recommandation du PLT concerne l'aide à la création de laboratoires universitaires pour l'astrophysique expérimentale. L'ASC et le CNRC-IHA ont mis sur pied un Programme de chaires de recherche industriels à l'Université de Montréal, ce qui aura pour effet d'y améliorer les compétences dans le domaine de l'instrumentation pour l'astronomie au sol et spatiale. De plus, l'University of Victoria a mis sur pied un laboratoire d'instrumentation en collaboration avec le CNRC-IHA et en profitant d'une subvention de la FCI. Ces projets sont deux importants exemples du type d'initiatives proposées par le PLT. Elles se font toutefois rares comparativement à ce qui est proposé.

La quatrième recommandation du PLT a été réalisée partiellement de par la mise sur pied, par l'ASC, d'un nouveau programme de bourses post-doctorales de 60 000 \$ par année chacune qui débutera prochainement. Un total de six bourses seront attribuées dans le domaine des sciences de l'espace. On prévoit que l'une de ces bourses sera consacrée au domaine de l'astronomie spatiale.

Chacune des activités sus-mentionnées a contribué à la réalisation partielle du PLT. Il reste cependant beaucoup à faire. Le CRMP réitère l'importance d'établir de nouveaux laboratoires universitaires dédiés à l'instrumentation pour l'astronomie spatiale et au sol. Le CRMP réitère de même l'importance d'augmenter l'aide financière aux chercheurs universitaires de façon à maximiser les bénéfices potentiels du PLT. Les personnes nouvellement embauchées au CNRC-IHA apportent une contribution essentielle au support des installations internationales que sont Gemini, le TCFH et le TJCM, de même qu'au CCDA. Il est impératif, pour que les objectifs du PLT soient atteints, que ces postes soient maintenus et que de nouvelles personnes soient recrutées. Le CRMP est d'avis qu'un élément-clé pour la réussite globale du PLT est l'amélioration des programmes de bourses post-doctorales du CNRC-IHA et du CRSNG. Des programmes similaires aux bourses américaines Hubble et Chandra permettraient aux astronomes les plus talentueux de perfectionner leurs habiletés en utilisant les installations proposées dans le PLT. Étant donné l'évolution rapide de certains aspects du PLT, particulièrement le projet du VLOT/TMT, il serait souhaitable que de tels programmes soient instaurés rapidement.

Avec le devancement du calendrier du projet du VLOT/TMT et la décision prochaine concernant la technologie à utiliser pour le SKA, on doit s'attendre à une nette augmentation des activités. Le CRMP recommande fortement que soient embauchés dix nouveaux chercheurs, plutôt que seulement six tel que préconisé par le PLT. Ces chercheurs pourraient occuper des postes au CNRC-IHA, des postes de boursiers Herzberg et de boursiers CRSNG/ASC en astronomie. L'arrivée de ce nouveau personnel au CNRC-IHA requerrait l'installation de l'infrastructure nécessaire pour l'accueillir et devrait être planifiée à court terme. Ces dix personnes devraient être recrutées avant l'obtention de la première lumière au TMT pour qu'on profite le plus vite possible des opportunités offertes par cette installation.

Bien que la proposition ci-dessus concerne principalement le CNRC-IHA, notons que le besoin d'augmenter le personnel de recherche existe également dans le milieu universitaire. Le nombre de postes de professeurs chercheurs devrait être augmenté dans les mêmes proportions afin d'exploiter le potentiel du PLT. Le CRMP recommande avec autant de vigueur aux universités de planifier dès maintenant une telle augmentation. Il serait particulièrement important d'embaucher des personnes qualifiées dans la conception et la construction d'instrumentation pour télescopes au sol et spatiaux, en vue d'installer et/ou d'améliorer les laboratoires universitaires d'astrophysique expérimentale recommandés plus haut. Les universités doivent mettre sur pied des politiques faisant en sorte que les professeurs chercheurs possédant ces qualifications particulières soient reconnues et rétribuées en fonction des impacts de leur conception et production d'instrumentation et ce, non seulement en fonction des publications produites. La productivité évaluée uniquement en termes de publications ne rend pas justice à l'ensemble de leur contribution à la recherche académique.

Le CRMP est d'avis que l'atteinte des objectifs des recommandations de la RMP concernant l'appui du CRSNG aux laboratoires d'instrumentation et à un programme de bourses amélioré serait davantage assurée en transformant le programme de subvention pour l'astronomie en un système d'enveloppe budgétaire. Un tel système permettrait la flexibilité nécessaire pour le financement de ces projets particuliers. Le principe de l'enveloppe budgétaire a bien fonctionné pour la communauté de la physique subatomique, qui présente d'ailleurs plusieurs similarités avec la communauté astronomique. ACURA est présente-ment l'organisation la mieux positionnée pour amener la CASCA et le CRSNG à engager des négociations en vue de l'instauration d'un tel système.

Le CRMP fait les recommandations suivantes:

**Le CRMP applaudit** la réalisation partielle des recommandations du PLT, qui s'est traduite par l'embauche de nouveau personnel au CNRC-IHA et l'annonce par l'ASC d'un nouveau programme de bourses postdoctorales en sciences de l'espace. **Le CRMP réitère vigoureusement** les recommandations du PLT concernant la construction de laboratoires universitaires d'astrophysique expérimentale, l'augmentation des subventions aux chercheurs universitaires en astronomie et l'importance d'investir dans les postes de chercheurs, dans les universités

comme dans les centres gouvernementaux pour l'astronomie, de manière à bénéficier pleinement des installations du PLT. Étant donné l'augmentation prévue des besoins en personnel de recherche pour le développement du SKA et du TMT, **le CRMP recommande fortement** que le nombre de chercheurs au CNRC-IHA, de bourses Herzberg et de bourses CRSNG/ASC soit augmenté de six (tel que préconisé par le PLT) à dix. Ce nombre devrait être atteint avant l'obtention de la première lumière au TMT. Le nombre de chercheurs en astronomie, et plus spécialement dans le domaine de l'instrumentation spatiale et au sol, devrait être augmenté dans les mêmes proportions.

**Le CRMP recommande** que ACURA, organisation représentant toutes les universités canadiennes actives dans le domaine de l'astronomie, amorce des consultations avec la CASCA et le CRSNG, dans l'optique d'une transformation du programme actuel de subvention pour l'astronomie en un système d'enveloppe budgétaire. Un tel système permettrait d'allouer un financement facilitant la mise en place de nouveaux laboratoires universitaires d'astrophysique expérimentale, de même que la gestion d'un programme de bourses CRSNG/ASC tel que décrit dans la recommandation précédente.

## 4.6 Informatique

Le PLT contient les recommandations suivantes concernant la stratégie canadienne pour ce qui est de l'aide requise en informatique:

**Le CPLT recommande fortement** que le Centre canadien de données astronomiques (CCDA) archive les données qui seront produites par les futurs observatoires spatiaux et au sol, et qu'il implante des techniques novatrices et puissantes d'extraction des données. Ce projet est l'un des plus importants en astronomie informatique.

**Le CPLT recommande fortement** que des fonds soient alloués à l'utilisation et à la mise à niveau d'un ordinateur parallèle de taille moyenne, et à l'embauche d'une personne-ressource chargée d'aider les utilisateurs locaux. Ce projet est l'un des plus importants en astronomie informatique. De plus, cet ordinateur devrait être installé dans les locaux de l'ICAT, et offrir des ressources nationales en informatique haute performance pour la modélisation et la simulation.

**Le CPLT recommande** que les subventions d'appareillage au Canada soient fortement accrues. Les chercheurs doivent être en mesure de traiter les volumes énormes de données qui deviendront d'ici peu la norme en astronomie et en astrophysique, et ils doivent pouvoir réaliser les calculs connexes.

**Le CPLT recommande** qu'un réseau CHP multidisciplinaire, durable et financé par les organismes nationaux, soit établi dans le cadre des programmes de la FCI.

La première recommandation se distingue des trois autres de plusieurs façons. Les activités du CCDA sont très ciblées et constituent un service offert par le CNRC-IHA. Les autres recommandations concernent l'aide à la recherche univer-

**La participation canadienne au développement du SKA et au projet du TMT, en progression rapide, appelle à une augmentation du personnel de recherche supérieure à celle recommandée dans le PLT.**

sitaire et plus particulièrement, quoique certainement pas exclusivement, l'aide à la recherche théorique.

### **A. Le Centre canadien de données astronomiques (CCDA) et l'analyse de données**

Le CCDA du CNRC-IHA a atteint les objectifs du PLT en devenant l'une des ressources principales d'archivage et d'exploration de données dans le monde. Ses principales activités sont regroupées sous le nom d'Observatoire virtuel canadien (OVC). Ces travaux s'inscrivent dans le cadre d'un effort mondial en émergence visant à développer des outils pour accéder aux données archivées provenant de tous les observatoires d'importance sur la planète et pour les analyser. Les activités liées à l'OVC sont concentrées dans deux domaines distincts : le CFHTLS, avec les données de MegaCam, et le développement d'outils généraux d'exploration de données pour l'astrophysique. Les activités liées à ces deux domaines ont obtenu une aide financière dans le cadre du PLT (300 000 dollars par année, tel que recommandé), de même que de la part du CNRC-IHA et de l'ASC. Ces deux dernières sources ont apporté une contribution financière s'élevant à 2,4 millions de dollars depuis la parution du PLT. De plus, le CCDA a mis sur pied le Gemini Science Archive, qui fait maintenant partie intégrante de l'OVC et de sa contrepartie internationale, l'Observatoire virtuel international. Il s'agit des seules archives d'observatoire du CCDA à être entièrement financées par l'observatoire en question. Le développement et la maintenance par le CCDA des archives principales du TCFH, du TJCM et du CGPS ont été financés par le CNRC-IHA, et l'ASC finance partiellement les archives du TSH et de FUSE.

Les réalisations du CCDA sont impressionnantes. En 2003 seulement, les archives principales du CCDA et le Digital Sky Survey ont été consultés par plus de 2000 utilisateurs distincts. Le taux des consultations est d'ailleurs en augmentation constante : un nombre comparable d'utilisateurs a été atteint dans les huit premiers mois seulement de 2004. Cette augmentation est due principalement aux consultations des données recueillies à l'aide des caméras CFH12K et MegaCam au TCFH (les données de MegaCam sont surtout composées d'images du CFHTLS). On a constaté que des articles scientifiques bien cités par la communauté ont utilisé des données extraites du CCDA. Ces constatations, bien qu'elles ne tracent pas un portrait complet de l'utilisation du CCDA, donnent une idée des réussites pressenties dans le PLT.

Ce succès contribue par ailleurs à créer de nouveaux besoins du côté de la performance de calcul, de l'emmagasinage des données, des spécialistes de la gestion des données, de l'investissement dans les infrastructures. Ces besoins pourraient éventuellement surpasser les capacités de soutien du CNRC. Le moteur principal de l'entreprise est, et demeurera, l'augmentation explosive des données astronomiques dans le monde. On peut donner comme exemple le fait que le CCDA se prépare actuellement à organiser des systèmes de consultation des données provenant de tous les projets liés au PLT tels ALMA, le TMT et le TSJW, en plus de ses services actuels de gestion des données du TSH, du TCFH, du CGPS et du TJCM (auxquelles s'ajouteront bientôt les données de SCUBA-2).

Supporter la circulation et l’emmagasiner des données provenant des observatoires actuels et à venir constitue un défi de gestion, défi qu’on retrouve partout dans le monde. Des consortiums internationaux ont dû être formés pour la construction des télescopes les plus puissants du monde et le partage de coûts trop grands pour être assumés par un seul pays. De la même façon, il se pourrait qu’il soit déjà temps de former de telles associations mondiales pour les ressources informatiques et la gestion de données.

Le CRMP est d’avis que la situation internationale doit être fondamentalement réévaluée et que des stratégies doivent être formulées pour la gestion de l’augmentation explosive anticipée, avec l’arrivée des nouveaux observatoires internationaux, des données astronomiques à travers le monde. Le CRMP recommande cependant que le CNRC réexamine le rôle du Canada dans la gestion globale des données de façon à mieux planifier les développements du CCDA.

Les défis prochains du CCDA sont étroitement liés au développement des outils nécessaires à l’extraction et à l’analyse des données recueillies par les installations prévues par le PLT, tel que souligné dans la troisième recommandation du PLT rappelée ci-dessus. Le développement de tels outils est un problème critique et urgent qui doit être pris en compte par les agences responsables de l’exploitation des nouvelles installations du PLT. S’ils ne disposent pas des outils d’analyse adéquats, les astronomes canadiens seront désavantagés dans la publication rapide de leurs travaux utilisant les données des installations du PLT, de même que pour l’utilisation efficace de leur temps d’observation. Le CRMP est d’avis que la CASCA est bien positionnée pour mener une évaluation des besoins en outils d’analyse des installations du PLT, et le CRMP recommande qu’une telle enquête soit menée rapidement. Cet examen devrait être préalable à l’examen par le CNRC-IHA de l’apport du CCDA au rôle du Canada dans la gestion globale des données.

En résumé, le CRMP fait les recommandations suivantes:

**Le CRMP recommande** que le CNRC-IHA examine le rôle du Canada dans la gestion globale des données et l’apport du CCDA à ce rôle, à la lumière des nouvelles installations spatiales et au sol telles que décrites dans le PLT. Cependant, l’aide financière au CCDA devrait être maintenue de façon à préserver l’efficacité des programmes existants.

**Le CRMP recommande** que la CASCA, par l’entremise de ses sous-comités, procède à un examen des besoins de toutes les installations du PLT en ce qui a trait à l’extraction et à l’analyse des données, puis qu’elle élabore, en concertation avec le CNRC-IHA et ACURA, une stratégie cohérente pour répondre aux besoins identifiés. Cet examen devrait être préalable et alimenter l’examen par le CNRC-IHA de l’apport du CCDA au rôle du Canada dans la gestion globale des données.

## B. Calcul haute performance

Le calcul haute performance (CHP) en astronomie concerne surtout l'astrophysique théorique, mais peut aussi être utile en traitement des données. Le CRMP a choisi de se concentrer sur les applications en recherche théorique, soit le domaine présentant les besoins les plus urgents. L'astrophysique numérique est un nouveau domaine de recherche en astronomie, né de la puissance grandissante des ordinateurs modernes. Ces ordinateurs permettent en effet de simuler le comportement de structures cosmiques et de comparer les modèles obtenus avec les phénomènes observés. Dans plusieurs secteurs de l'astronomie, cette approche constitue le lien crucial entre la théorie, les observations et la compréhension des phénomènes. Le Canada possède d'excellents antécédents en CHP. Des chercheurs canadiens ont notamment contribué de façon importante à la cosmologie, à la magnétohydrodynamique, à la dynamique des planètes et à la relativité numérique. Les chercheurs canadiens ont développé un nombre proportionnellement élevé de progiciels et de méthodes numériques utilisés partout à travers le monde.

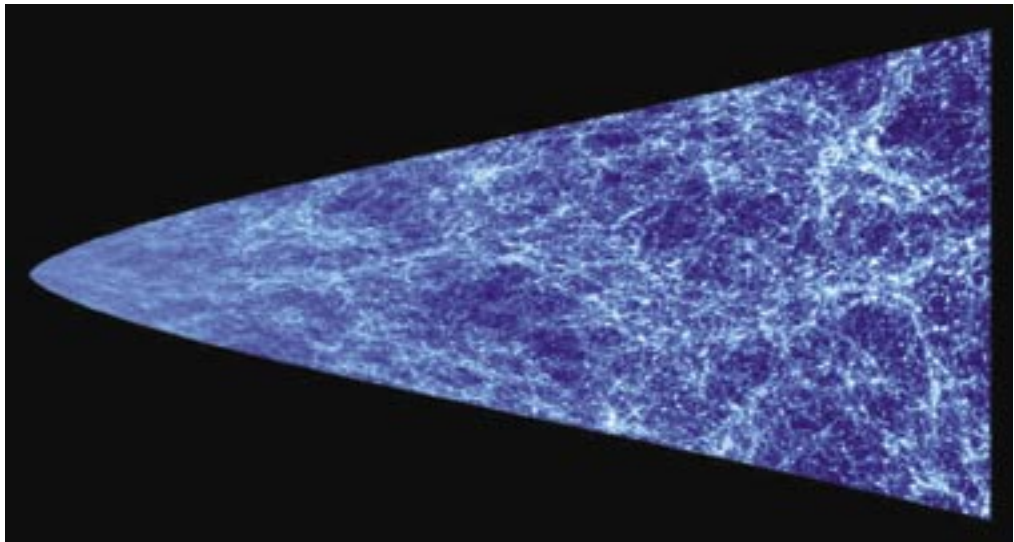
Tel qu'expliqué aux pages 81 à 82 du document du PLT, on peut représenter l'environnement informatique par une pyramide à trois niveaux. La base de cette pyramide, le niveau 3, représente les ordinateurs personnels et les petits réseaux. Le niveau 2, ou niveau intermédiaire, est constitué des appareils possédant jusqu'à plusieurs centaines de processeurs. Le niveau 1, en-haut de la pyramide, représente un petit nombre de grands systèmes de niveau mondial possédant des milliers de processeurs. Chacun des trois niveaux de cette « pyramide informatique » occupe une place importante en astrophysique théorique et en analyse des données.

Le premier cycle de financement pour le CHP, à l'été 1999, coïncidait approximativement avec les dernières étapes de rédaction du PLT. Les fonds subséquents octroyés par la FCI pour des installations de CHP ont surpassé de loin les montants indiqués dans les trois dernières recommandations du CPLT rappelées au début de la section 4.6. Il était prévu, dans le PLT, que le soutien financier de la FCI au CHP en astronomie serait d'importance, mais il aurait été difficile de prévoir un tel investissement total dans le CHP multidisciplinaire : 240 millions de dollars ont été investis jusqu'à maintenant, incluant les fonds correspondants provinciaux. Le montant de 1,5 million de dollars proposé pour des ressources informatiques de niveau 2 était de toute évidence très conservateur. D'importantes installations régionales de niveau 2 (surtout interdisciplinaires) ont été établies grâce aux investissements de la FCI, ce qui encourage la formation de scientifiques compétents en CHP dans une variété de disciplines. Les communautés des domaines de l'astronomie et de la relativité générale ont été instigatrices de plusieurs de ces installations régionales. Les possibilités offertes par le CHP et les besoins de l'astrophysique numérique évoluent toutefois rapidement, avec l'augmentation de la puissance informatique disponible et la possibilité de simuler des phénomènes astrophysiques toujours plus complexes.

La question spécifique que le CRMP aimerait aborder dans ce rapport est celle de l'absence de système de niveau 1 accessible aux chercheurs canadiens en astrophysique. Ce manque fait obstacle, et continuera de faire obstacle à l'interprétation des observations astronomiques modernes. Le CHP à grande échelle est le moteur central de l'étude de la structure cosmique depuis plus d'une décennie, et est en passe de devenir tout aussi central dans le domaine de la modélisation de la formation stellaire et planétaire. La prédiction de l'émission d'ondes gravitationnelles par des trous noirs en coalescence, la compréhension de l'effondrement stellaire causant les supernovae et le développement de modèles de structures stellaires tridimensionnels sont d'autres exemples d'activités dépendant de façon critique des calculs à grande échelle. Les méthodes de calcul actuelles les plus avancées ne permettent souvent pas de représenter adéquatement de tels systèmes physiques, et ce même sur les plus grands super-ordinateurs. En conséquence, les chercheurs exercent une pression continue pour utiliser les plus gros ordinateurs disponibles permettant de générer les modèles les plus fiables que possible. La plus forte demande vise un type très spécifique de calcul, le « capability computing », avec lequel un seul modèle est généré par plusieurs centaines ou milliers de processeurs en configuration groupée.

On évalue que la puissance des ordinateurs de niveau 1 augmentera d'un facteur de plus de 60 entre 2005 et 2011. En 2011, les calculs de niveau 1 permettront de produire des simulations tridimensionnelles remarquablement réalistes et détaillées de l'intérieur des étoiles et des variations rapides qui s'y produisent lors de leur explosion en supernova. Les observations extensives de la structure cosmique, faites aux plus puissants télescopes présentés dans ce document, pourront être comparées aux simulations de la formation de cette structure s'étendant sur toute la durée de l'histoire cosmique. La figure 4.7 montre un exemple de simulation (obtenue à l'aide d'un système de niveau 2) de la croissance de la structure cosmique à mesure que progresse l'expansion de l'univers. Ces simulations, quoique grossières, constituent un début pour la compréhension des conditions mystérieuses dans lesquelles s'est formée cette structure. Les astrophysiciens – les théoriciens comme les observateurs qui utilisent les télescopes sophistiqués décrits dans ce rapport – considèrent tous avec enthousiasme la perspective de pouvoir comparer observations et simulations et de découvrir ainsi comment l'univers a évolué jusqu'à son état actuel.

La stratégie à adopter pour accéder à des ressources pour le CHP de niveau 1 pour l'astrophysique doit tenir compte de la question de la compatibilité des besoins de l'astrophysique avec ceux des autres disciplines. L'organisation C3.ca, une collaboration d'intérêts canadiens en CHP appuyée par la plupart des principales agences de financement, travaille à formuler une stratégie pour un accès durable à des ressources pour le CHP multidisciplinaire au Canada. Leur rapport, attendu au cours de l'automne 2004, devrait recommander que le financement des populaires installations régionales de niveau 2 soit maintenu, et qu'on accélère la mise sur pied d'une installation nationale durable de niveau 1. Le CRMP tient à souligner l'importance d'engager la communauté de CHP dans son ensemble à développer des projets d'installations nationales durables pour le CHP.



**Figure 4.7:** Cette image remarquable montre une simulation par ordinateur de la croissance de la structure filamenteuse de la matière sombre dans l'univers en expansion. L'extrémité gauche représente le Big Bang et l'axe du temps pointe vers la droite. L'enveloppe illustre la croissance d'une section de l'univers au cours de ses 15 milliards d'années d'existence. Les galaxies et les amas se forment aux intersections des filaments. Cette simulation a été réalisée à l'aide d'un super-ordinateur de 512 processeurs parallèles à l'ICAT.

Image: John Dubinski, Département d'astronomie et d'astrophysique, University of Toronto.

Lors des consultations menées dans la communauté parallèlement au développement de la stratégie de C3.ca, il est clairement ressorti que les astronomes canadiens doivent assumer un rôle directeur dans l'utilisation des grandes installations de niveau 2, et que le besoin d'un accès à une installation de niveau 1 est urgent. La même situation a été constatée dans plusieurs autres pays : bien que les astrophysiciens et les chercheurs du domaine de la relativité ne représentent que 2% des scientifiques, ils utilisent souvent 20% des ressources de puissance informatique de niveau 1. Ce trait général reflète bien les besoins particuliers de la simulation de systèmes astrophysiques excessivement grands et complexes. La communauté astrophysique a donc un besoin immédiat de ressources informatiques de niveau 1, et elle est dès à présent prête à utiliser de telles ressources. Cette communauté possède déjà l'infrastructure nécessaire pour accueillir un tel système, satisfaisant à la demande de toute l'astrophysique numérique canadienne : mentionnons, par exemple, l'un des sites dédiés à l'astronomie dans les établissements de CHP existants, ou l'ICAT.

Les chercheurs intéressés devraient dès maintenant œuvrer à satisfaire à la demande immédiate de la communauté astrophysique en formulant une stratégie pour le développement d'un système informatique abordable de niveau 1 pour l'astrophysique, et ce pour le prochain cycle technologique de trois ans. Cette démarche devrait être accompagnée de consultations avec C3.ca et avec des chercheurs d'autres domaines pour examiner la viabilité à long terme d'une



coopération interdisciplinaire en ce qui a trait à des installations de niveau 1. On estime qu'un système convenant à l'astronomie coûterait de 15 à 20 millions de dollars. Avec les compétences qu'on retrouve actuellement au Canada, la communauté astronomique est en mesure de saisir cette remarquable opportunité, et de faire preuve de leadership en contribuant au développement d'une capacité de CHP de niveau 1 au Canada.

L'acquisition d'une installation pour le CHP de niveau 1 pour l'astronomie aura des retombées au-delà de la communauté astrophysique. Ces grands systèmes requerront en effet des compétences et des logiciels utiles dans plusieurs secteurs, et encourageront une coopération interdisciplinaire étendue et à long terme pour le CHP de niveau 1.

Le CRMP tient d'autre part à souligner que la troisième recommandation du PLT, concernant une augmentation des subventions d'appareillage du CRSNG pour la revitalisation des ordinateurs de bureau servant à l'analyse de données et à l'astrophysique théorique, n'a encore donné lieu à aucune action concrète. Le CRMP souhaite réitérer ce besoin et suggère qu'il soit satisfait de par les actions entreprises pour la réalisation de la seconde recommandation du CRMP à la section 4.6A.

Concernant le CHP de niveau 1, le CRMP fait donc la recommandation suivante:

**Le CRMP recommande** que la communauté du CHP mette en place dès maintenant une stratégie pour obtenir l'accès à un système informatique de niveau 1 pour l'astrophysique qui soit abordable et de première catégorie, soit un système compétitif en regard de tous les systèmes de pointe dans toutes les disciplines à travers le monde. L'objectif devrait être de satisfaire à la demande pour le prochain cycle technologique de trois ans. La stratégie doit assurer un accès satisfaisant à la demande de la communauté astrophysique théorique, et lui assurer une place de chef de file national en CHP et un leadership international de par les résultats scientifiques obtenus. La communauté devrait simultanément initier une consultation interdisciplinaire en vue d'établir un accès durable à des ressources de niveau 1 pour le CHP.

## 4.7 Vulgarisation et sensibilisation du public

Le PLT contient les recommandations suivantes concernant la vulgarisation scientifique et la sensibilisation du public:

**Le CPLT recommande fortement** qu'environ 1,5 % du budget de tout projet soit alloué à des activités connexes de vulgarisation. Cette recommandation est l'une des plus prioritaires pour les initiatives de vulgarisation. De plus, le CNRC et l'ASC devraient créer des centres modernes de vulgarisation qui contribueraient aux activités d'éducation et s'adresseraient autant au public qu'aux médias.

**Le CPLT recommande fortement** que l'on déploie des efforts concertés et soutenus afin d'établir un programme efficace et multiniveaux de vulgarisa-

tion s'adressant au public, aux écoles, aux groupes d'astronomes amateurs, aux planétariums, aux gouvernements et aux médias. La Société canadienne d'astronomie (CASCA) et le CNRC devraient créer un site Web à la fine pointe de la technologie, consacré à l'astronomie. Cette recommandation est l'une des plus prioritaires en fait de vulgarisation.

**Le CPLT recommande** que la CASCA joue un rôle directeur dans les activités d'éducation s'adressant aux écoles. La CASCA devrait donc disposer des ressources lui permettant de présenter des ateliers et d'offrir aux enseignants des outils pédagogiques, de maintenir un site Web sur l'astronomie, et d'engager un agent d'information qui coordonnerait ces activités.

**Le CPLT recommande** que le CRSNG maintienne et élargisse son programme de stages d'été en recherche pour les étudiants du premier cycle.

Le CRMP constate avec plaisir que l'enthousiasme du grand public pour l'astronomie au Canada continue de se confirmer. Par exemple, la fréquentation des planétariums canadiens a augmenté de plus de 11%, atteignant les 800 000 personnes par année entre 2000 et 2003. Le nombre des membres de la Société royale d'astronomie du Canada (SRAC) a aussi substantiellement augmenté. Nous soulignons de plus avec satisfaction la reconnaissance obtenue par le SRAC pour ses programmes de vulgarisation et de sensibilisation du public : la Société s'est vu accorder en 2003 le Prix Michael Smith du CRSNG pour des réalisations remarquables et soutenues pour la promotion de la science. D'autre part, l'astronomie est maintenant un sujet obligatoire dans le programme éducatif scientifique des 6<sup>ème</sup> et 9<sup>ème</sup> années en Ontario, et un cours optionnel en sciences de la terre et planétaire est disponible en 12<sup>ème</sup> année. La situation est similaire de façon générale à travers le Canada. Dernier point mais non le moindre : la vulgarisation scientifique et la sensibilisation du public sont maintenant inscrites à l'ordre du jour des réunions de la CASCA et figure dans ses bulletins d'information, ce qui représente un changement important qui devrait encourager les plus jeunes membres à s'impliquer dans ce secteur.

Le CRMP constate avec satisfaction que des progrès significatifs ont été accomplis pour la réalisation des recommandations du PLT concernant la vulgarisation et la sensibilisation du public. Beaucoup reste cependant à faire. L'objectif d'allouer 1,5% du budget de tout projet à des activités connexes de vulgarisation et sensibilisation, tel que préconisé dans la première recommandation du CPLT concernant la vulgarisation, n'a pas été atteint. Le CNRC a toutefois agi dans le sens de cette recommandation en mettant sur pied le « Centre de l'univers », un centre des visiteurs moderne de 660 mètres carrés établi à l'OFA. Cette installation comprend un planétarium STARLAB, une salle de spectacle de 70 places, des expositions concernant l'astronomie canadienne et quelques expositions interactives. L'ASC consacre aussi environ 25 000 dollars par année à la vulgarisation et à l'éducation sur le programme canadien d'astronomie spatiale.

On rapporte aussi des progrès du côté des deuxième et troisième recommandations du PLT, dus principalement au travail du sous-comité pour la vulgarisa-

tion scientifique de la CASCA et aux efforts du CNRC-IHA. La CASCA a reçu des subventions pour la mise sur pied de nouveaux projets éducatifs en astronomie au Canada par le biais du Programme PromoScience du CRSNG et du Ontario Youth Science and Technology Awareness Program. Ces fonds ont été complétés à même les ressources de la CASCA et par des fonds accordés par la WESTAR Corporation. Les activités mises sur pied à partir de ces fonds comprennent un site Web éducatif bilingue destiné principalement aux enseignants de la 6<sup>ème</sup> à la 9<sup>ème</sup> année, le développement de matériel éducatif pour le site Web, un programme d'ateliers pour les enseignants aux réunions annuelles de la CASCA et la mise en place d'une meilleure coopération avec les planétariums et les Centres des sciences pour la promotion de l'astronomie canadienne. Le CNRC a en outre mené un vigoureux programme de vulgarisation incluant, par exemple, une série d'articles hebdomadaires parus sur son site Web dans les deux langues officielles, des conférences et des visites guidées de ses installations.

À ces points saillants s'ajoutent plusieurs autres activités de vulgarisation scientifique et de sensibilisation du public organisées par la CASCA, le CNRC-IHA et des départements universitaires individuels. Le CRMP appuie ardemment la poursuite et le développement de ces activités, tel que planifié. Le CRMP souligne, une fois de plus, que beaucoup reste à faire pour atteindre les objectifs du PLT, et que les efforts en ce sens doivent être encouragés par l'accès aux ressources préconisées par le CPLT.

Le CRMP est d'avis que la priorité devrait être accordée au développement et à la maintenance d'un site Web consacré aux plus captivants des résultats obtenus partout dans le monde à l'aide des installations pour la recherche, tout en insistant sur les contributions canadiennes. Le site Web devrait être documenté, visuellement impressionnant et facile à consulter. Il devrait compter parmi les meilleurs sites du monde consacrés à l'astronomie, et donc être dynamique et fréquemment mis à jour. Il devrait être concentré sur une information d'intérêt général et être associé au site Web éducatif de la CASCA pour les enseignants, sans toutefois reprendre le travail de la CASCA. Ce nouveau site Web devrait être le site de référence des médias pour ce qui est la participation canadienne aux plus récents développements en astronomie. Un tel site requerrait un entretien quotidien et donc l'embauche de personnel à temps plein chargé de sa maintenance. Étant donné les ressources requises, le site devrait être hébergé, développé et entretenu dans une université canadienne et en concertation avec la CASCA, et il devrait être financé par une partie des fonds récupérés en réaffectant à la vulgarisation et la sensibilisation du public 1,5% des budgets pour les télescopes et projets de CHP, tel que recommandé dans le PLT. Un mécanisme pour la gestion de ces fonds devra être identifié, de même qu'un hôte pour l'hébergement du site Web.

En résumé:

**Le CRMP félicite** la CASCA et le CNRC-IHA pour le programme de vulgarisation enthousiaste qu'ils ont mené avec succès et recommande que ce programme soit maintenu et développé, en accord avec ce qui était planifié.

Le CRMP réitère le besoin d'allouer 1,5% du budget de tout télescope ou projet de CHP à des activités connexes de vulgarisation et de sensibilisation du public, et recommande que la priorité en matière de financement soit accordée au développement d'un site Web documenté et visuellement impressionnant, tel que recommandé par le CPLT. Le CRMP recommande de plus que les fonds mentionnés soient utilisés pour l'embauche de personnel à temps plein dédié à l'entretien du site Web et aux activités de vulgarisation et de sensibilisation. Le CNRC-IHA, la CASCA, l'ASC et ACURA devraient tous être impliqués dans la gestion du site Web. La CASCA devrait se charger d'identifier un mécanisme pour fournir le soutien requis, de même qu'un hôte potentiel pour l'hébergement du site Web.

## 4.8 Budget

### A. Aperçu général

Les tableaux 2 et 3 donnent les estimations des coûts des projets décrits dans ce document. Le tableau 2 est divisé en deux parties, pour permettre une comparaison entre les montants recommandés dans le PLT et ceux recommandés par la RMP. Dans la première partie, intitulée « Plan à long terme », on retrouve les montants recommandés dans le document original du PLT. Dans la seconde partie, intitulée « Révision à mi-parcours », on a les montants dépensés et/ou alloués pour les cinq premières années du PLT, de même que, lorsque disponibles, les montants recommandés pour les deux périodes de cinq ans suivantes. Toutes les sommes de la partie « Révision à mi-parcours » sont indiquées en dollars canadiens courants (2004), sans inflation. Un taux de change de 1,43 \$ CAN pour 1 USD a été utilisé pour faire les conversions nécessaires. La présentation du tableau est similaire, mais pas identique à celle du tableau correspondant dans le document du PLT. Pour chaque item marqué d'un astérisque, prière de se référer à la section 4.8B, sous **Suppositions et notes pour le tableau 2.**

Une attention particulière a été portée à certaines complications dues au rythme de progression de plusieurs projets au sol par rapport aux cycles de cinq ans du PLT. Ces complications n'avaient pas été prévues en 2000 mais doivent à présent être adéquatement prises en compte : elles reflètent en effet les réalités de la réalisation du PLT. Premièrement, le financement des projets du PLT n'a débuté qu'en 2002-2003, et certains projets en cours n'ont reçu des fonds que pour trois ans, soit jusqu'en 2004-2005. La colonne de la RMP pour les cinq premières années a donc été séparée en deux parties, soit fonds « Existants » et « Nouveaux » fonds. Les « fonds existants » représentent les fonds ayant déjà été alloués dans le cadre du PLT. Les « nouveaux fonds » doivent être trouvés au cours de 2005-2006 pour que puissent être poursuivis les projets en cours et que soient amorcées les priorités les plus urgentes du PLT. Ces nouveaux fonds couvriront une période de moins de cinq ans. Pour l'astronomie spatiale, il s'agit des montants recommandés par le CRMP en plus des dépenses prévues de l'ASC. Deuxièmement, la FCI, les fonds provinciaux correspondants et d'autres

sources de financement potentielles se sont ajoutés aux sources déjà existantes pour l'astronomie au sol. Les sources de financement et la distribution des fonds dans les dernières années de la période budgétaire de la RMP restent à déterminer, d'où la catégorie « AD ».

Les chiffres indiqués pour le TSJW, la mission Herschel/Planck et les autres projets spatiaux sont basés sur des estimations de l'ASC pour la période 2000-2001 à 2009-2010. Les montants indiqués pour la période 2007-2011 n'incluent donc pas les dépenses des périodes 2010-2011 et 2011-2012, pour lesquelles nous n'avions pas d'estimation. Les tableaux n'incluent pas non plus les dépenses de 2000-2002, qui s'élevaient à 1,2 millions de dollars pour le TSJW, à 1,7 millions de dollars pour la mission Herschel/Planck et à 7,9 millions de dollars pour tous les autres projets. Les dépenses totales pour l'astronomie spatiale concordent avec le PLT et sont approuvées par le CRMP. Notons que des montants additionnels ont été ajoutés à partir de 2005-2006 dans la partie « Nouveaux fonds » pour les bourses postdoctorales et les programmes de vulgarisation recommandés par le CRMP.

Le tableau 3 est un résumé des dépenses recommandées pour la prochaine phase du PLT, qui couvre la période entre 2005 et 2011. Les montants pour l'astronomie au sol sous « Début 2005 » correspondent aux montants de la partie « Nouveaux » fonds sous 2002-2006 au tableau 2, et seront bientôt requis pour la poursuite des projets en cours et la réalisation des priorités du PLT. Le montant total requis pour cette catégorie s'élève à 69 millions de dollars. Le montant total pour la seconde période de cinq ans du PLT (2007-2011) est de 167 millions de dollars. Le montant total requis pour l'astronomie au sol pour la période de sept ans s'étalant entre 2005-2006 et 2011-2012 s'élève donc à 236 millions de dollars, provenant de toutes les sources de financement potentielles. Le montant correspondant pour l'astronomie spatiale est de 87,9 millions de dollars, comprenant l'allocation des fonds recommandés pour les bourses postdoctorales et le programme de vulgarisation scientifique.

## B. Suppositions et notes pour le tableau 2

Toutes les estimations du tableau 2 représentant des prévisions de coûts sont des montants totaux. Ils ne tiennent pas compte des économies potentielles dues à des réductions dans les coûts d'exploitation du TJCM et du TCFH qu'amènerait le retrait partiel ou complet de l'engagement du Canada envers ces installations. Les références ci-dessous se rapportent aux éléments du tableau 2 portant des astérisques.

### Fonds existants et nouveaux fonds:

Les montants pour l'astronomie au sol sous fonds « Existants » représentent les allocations existantes à verser au cours des cinq premières années du PLT. Les montants de la colonne « Nouveaux » fonds correspondent aux nouveaux fonds requis à partir de 2005-2006. Ils sont nécessaires à la poursuite des analyses de projets en cours, dont le financement se terminera avant la fin de la présente

période de financement de cinq ans (par exemple, les études de phase B pour le GRAC), de même qu'à la réalisation des priorités les plus urgentes du PLT. Pour l'astronomie spatiale, il s'agit des montants recommandés par le CRMP à partir de 2005-2006 en plus des dépenses prévues de l'ASC, indiquées sous fonds « Existants ».

#### **EVLA:**

Le financement du corrélateur pour le EVLA était l'une des conditions du NAPRA assurant au Canada un accès à ALMA.

#### **SKA:**

Le montant requis pour le financement des études de phase B pour une période de quatre ans débutant en 2005-2006 est le 9,5 millions de dollars. Le montant recommandé pour la construction d'un ou plusieurs éléments prototypes pour le SKA, après que la technologie à utiliser aura été sélectionnée par le consortium international, s'élève à 15 millions de dollars. La catégorie « AD », pour « à déterminer », indique qu'aucune estimation n'a encore été faite pour ce qui est de la part du Canada dans la construction du SKA.

#### **Étude DDP pour le TMT:**

Les fonds correspondants requis pour l'allocation de 4 millions de dollars de la FCI pour l'étude DDP pour le TMT sont actuellement recherchés auprès des gouvernements provinciaux de l'Ontario et de la Colombie-Britannique, du CNRC-IHA et de l'industrie. Le montant à verser pour la DDP pour que le Canada conserve une part de 25% dans le TMT est d'approximativement 25 millions \$ CAN. Un montant additionnel de 15 millions de dollars doit donc être trouvé sans tarder.

#### **Construction du TMT:**

Une participation canadienne de 25% à la construction du TMT représente approximativement 225 millions \$ CAN, en plus du montant requis pour la DDP (soit 25 millions de dollars). Ce montant a été divisé à raison de 100 millions de dollars pour la période 2007-2011, et 125 millions de dollars pour la période 2012-2016. Ce rapport est toutefois très approximatif, la division précise des fonds n'étant pas encore connue.

#### **Exploitation du TMT:**

Ce chiffre est une estimation de la participation canadienne aux coûts d'exploitation pour la période de deux ans s'étendant entre 2015 et 2017, suivant donc le début des opérations scientifiques après la « première lumière », prévue pour 2015. L'estimation de la participation canadienne est calculée à 25% des coûts d'exploitation annuels, estimés à 10% des coûts en capital.

**Gemini/TJCM/TCFH:**

Les chiffres apparaissant à la ligne Gemini/TJCM/TCFH se rapportent en fait uniquement à Gemini. Aucun nouveau fonds n'a été recommandé pour le TJCM et le TCFH. Rappelons en effet que le CRMP recommande que l'aide financière octroyée pour ces télescopes soit réaffectée à l'exploitation de nouvelles installations du PLT dès lors que les engagements du Canada envers le TJCM et le TCFH prendront fin. Les 15 millions de dollars inscrits pour les années 2002 à 2006 se rapportent à la part canadienne des coûts de 70 millions USD estimés pour le programme d'instrumentation pour Gemini. Ces fonds seront requis pour une période de cinq ans débutant en 2006. La part du Canada de l'augmentation des coûts d'exploitation, due principalement à l'utilisation accrue du télescope en mode file d'attente et service, de même qu'à d'autres développements de l'observatoire, est estimée à 6,3 millions de dollars.

**Personnel de recherche de l'IHA:**

Ces montants sont requis pour l'embauche de dix nouveaux chercheurs, soit quatre de plus que ce qui avait été recommandé dans le PLT, et ce avant 2011-2012. On prévoit que les six nouveaux chercheurs recommandés par le PLT seront recrutés d'ici 2006-2007, et que ce nombre augmentera linéairement pour atteindre le total de dix en 2011-2012. Le chiffre sous « Nouveaux fonds » correspond aux nouveaux montants requis, pour les deux périodes fiscales 2005-2006 et 2006-2007, pour augmenter à six le nombre de nouveaux chercheurs embauchés à l'IHA à l'aide de fonds alloués pour le PLT.

**Bourses Herzberg:**

Il s'agit des montants requis pour l'établissement de dix bourses postdoctorales, soit les six recommandées dans le PLT plus quatre bourses additionnelles, pour atteindre un total de dix en 2011-2012. Ces nouvelles bourses devraient être offertes selon une progression similaire à celle de l'embauche du nouveau personnel de recherche à l'IHA.

**Bourses CRSNG/ASC:**

Il s'agit des montants requis pour l'établissement de dix bourses postdoctorales, soit les six recommandées dans le PLT plus quatre bourses additionnelles, pour atteindre un total de dix en 2011-2012. Ces nouvelles bourses devraient être offertes selon une progression similaire à celles de l'embauche du nouveau personnel de recherche à l'IHA et de l'établissement des bourses Herzberg, sauf pour ce qui est de l'allocation des bourses de l'ASC existantes (dont l'une devrait être consacrée à l'astronomie). Ce programme débutant bientôt, soit en 2005-2006, il figure dans la colonne « Nouveaux » fonds.

**CCDA:**

Ces montants incluent un financement continu des salaires et une augmentation de 3 millions de dollars pour la période 2007-2011, destinée à une modernisation substantielle de l'équipement.

**CHP:**

Le coût estimé de la mise sur pied d'une installation informatique de niveau 1 pour l'astrophysique couvrant un cycle technologique de trois ans est de 15 millions de dollars. La source de financement n'a toujours pas été identifiée. Ce projet correspond cependant aux critères de la FCI, qui pourrait financer sa mise sur pied et son exploitation sur trois ans.

**Vulgarisation et sensibilisation du public:**

Ces montants sont basés sur l'hypothèse que les dépenses pour la vulgarisation et la sensibilisation correspondront à 1,5% des coûts de tous les projets de télescopes ou de CHP.



**Tableau 2 : estimation des coûts et dépenses du PLT et de la RMP (millions de dollars)**

	Item	PLAN À LONG TERME				RÉVISION À MI-PAROURS				
		Source	2001-05	2006-10	2011-15	Source	2002-06		2007-11	2012-16
							Existants*	Nouveaux*		
Installations mondiales	Construction de ALMA	CNRC	24,5	23		CNRC	16,3		12	
						FCI	7,9			
	EVLA*					CNRC	20			
	Exploitation de ALMA	CNRC		2,5	10	CNRC			10	20
	Études pour le SKA*	CNRC	3,4	8,5	1	CNRC	2,4	9,5	15	
	Construction du SKA	CNRC			30	AD				AD
	Études pour le VLOT	CNRC	22,4	22,4		CNRC	4,3			
	Construction du VLOT	CNRC			30					
	Étude DDP pour le TMT*					FCI		4		
						F.corr.(AD)		6		
					AD		15			
	Construction du TMT*				AD			100	125	
	Exploitation du TMT*				AD				50	
	TSJW	ASC	38	38		ASC	31,3		36,4	
Projets de moyenne envergure	Herschel/Planck	ASC	9,5	9,3		ASC	13,6		5,3	
	VLBI spatial /autre	ASC	1	1		ASC	16,8		9,3	
	Gemini/TJCM /TCFH*	CNRC	3,5	8	5	CNRC	6,4	15	6,3	6,3
	MegaPrime	CNRC	0,5	0,6						
	WIRCAM	CNRC	3,8							
	Groupe des récepteurs	CNRC	1	1	1	CNRC	1		1	1
	Groupe des corrélateurs	CNRC	1	1	1	CNRC	1,1		1	1
	Extension du CGPS	CNRC	2,6			CNRC	0,53			
	Télescopes de l'OFA	CNRC	0,5	0,5	0,5	CNRC	0,25		0,25	0,25
Ressources humaines	Personnel de recherche de l'IHA*	CNRC	3	3	3	CNRC	1,9	0,34	4	5
	Bourses Herzberg*	CNRC	1,7	2,1	2,1	CNRC		0,42	2,8	3,5
	Bourses de l'ASC*	ASC	0,85	1,05		ASC	0,12	0,09	1,4	1,7
	Bourses CRSNG*	CRSNG	0,85	1,05	1,05	CRSNG		0,21	1,4	1,7
	Lab. d'astro. expérimentale	CRSNG	3,5	3,5	3,5	CRSNG		1,4	3,5	3,5
	Subventions de recherche	CRSNG	1,5	1,5	1,5	CRSNG		0,6	1,5	1,5
Informatique	CCDA (OVC)	CNRC	1,5	1,5	1,5	CNRC	1,56		3	1,75
	CHP (installation de niveau 1)	CNRC	1,5	0,5	0,5	AD		15		
	Subventions d'équipement	CRSNG	2,5	2,5	2,5	CRSNG		1	2,5	2,5
Vulgarisation	Vulgarisation*	CNRC	0,9	0,9	0,9	CNRC		0,37	0,6	0,4
		ASC	0,6	0,6		ASC	0,13	0,37	0,9	AD
		CASCA	0,1	0,1	0,1	CASCA	0,11		0,1	0,1
						AD		0,45	1,5	AD
Totaux		CNRC	71,8	75,5	86,5	CNRC	55,7	25,6	56	39,2
		ASC	50	50		ASC	62	0,5	53,3	AD
		CRSNG	8,4	8,6	8,6	CRSNG		3,2	8,9	9,2
		FCI				FCI	7,9	4		
		AD				AD		36,4	101,5	AD

**Tableau 3: Dépenses recommandées pour la période 2005-2011 (millions de dollars)**

	Priorité	Au sol			Spatial	
		Début 2005**	2007-11	Totaux		
<b>Installations mondiales</b>	ALMA	*		22	22	
	SKA	*	9,5	15	24,5	
	VLOT/TMT	*	25	100	125	
	TSJW	*				60,6
	<b>Sous-totaux</b>		<b>34,5</b>	<b>137</b>	<b>171,5</b>	<b>60,6</b>
<b>Projets de moyenne envergure</b>	Herschel/Planck	*				8,9
	Autres projets spatiaux***					15,6
	Gemini	*	15	6,3	21,3	
	Groupes récepteurs/corrélateurs			2,0	2,0	
	Télescopes de l'OFA			0,25	0,25	
	<b>Sous-totaux</b>		<b>15</b>	<b>8,6</b>	<b>23,6</b>	<b>24,5</b>
<b>Ressources humaines</b>	Personnel de recherche de l'IHA	*	0,3	4	4,3	
	Bourses Herzberg	*	0,4	2,8	3,2	
	Bourses de l'ASC	*				1,5
	Bourses du CRSNG	*	0,2	1,4	1,6	
	Lab, astro, expérimentale		1,4	3,5	4,9	
	Subventions de recherche		0,6	1,5	2,1	
	<b>Sous-totaux</b>		<b>2,9</b>	<b>13,2</b>	<b>16,1</b>	<b>1,5</b>
<b>Informatique</b>	OVC			3,0	3,0	
	CHP		15		15	
	Subventions d'équipement		1	2,5	3,5	
	<b>Sous-totaux</b>		<b>16</b>	<b>5,5</b>	<b>21,5</b>	
<b>Vulgarisation</b>		<b>0,8</b>	<b>2,2</b>	<b>3,0</b>	<b>1,3</b>	
<b>Totaux</b>		<b>69,2</b>	<b>166,5</b>	<b>235,7</b>	<b>87,9</b>	

\* Indique une association avec une forte recommandation.

\*\* Ces fonds correspondent à ceux de la colonne « Nouveaux fonds » sous 2002-2006 dans le tableau 2.

\*\*\* Ces projets incluent BLAST, FUSE, UVIT, l'aide au CCDA, les études de conception, de même que de nouvelles opportunités/opportunités éventuelles.

# Le financement et la gestion de grandes installations astronomiques

C'est le CNRC qui, depuis 1970, est en charge de la gestion et du financement des observatoires au sol d'importance utilisés par les astronomes canadiens. Le mandat du CNRC est d' « assurer le fonctionnement et la gestion des observatoires astronomiques mis sur pied ou exploités par le gouvernement du Canada. » Ce mandat est assumé par le CNRC-IHA, qui fournit aussi la plus grande partie de l'expertise en développement d'instruments pour grands télescopes optiques et radiotélescopes. Le CNRC-IHA soutient donc tout un pan de la recherche en astronomie, au sol et spatiale, impliquant des longueurs d'ondes allant de l'ultraviolet au centimètre, tout en disposant de puissants outils d'archivage et d'extraction de données. L'efficacité du CNRC-IHA est évidente au regard des nouvelles installations dont ont pu disposer les astronomes canadiens depuis le début des années 70. Les collaborations que le CNRC-IHA a établies pour la recherche et son rôle directeur dans le développement des nouvelles installations du PLT (incluant ALMA, le TMT et le SKA) témoignent de l'importance de son rôle et de sa pertinence pour la communauté. Le CNRC-IHA contribue de plus de façon importante au programme spatial de l'ASC, de par des travaux essentiels pour le VSOP, FUSE et le TSJW, entre autres. Cependant, la RMP a clairement démontré qu'aucune agence ou organisation individuelle n'est en mesure de financer et de gérer toute la gamme des installations recommandées dans le PLT. En conséquence, le CRMP est d'avis qu'il est nécessaire et que le temps est venu de mettre au point une nouvelle structure pour le financement et la gestion des grandes installations pour l'astronomie.

Il existe maintenant différentes sources de financement pour les installations astronomiques à part le CNRC, dont le CRSNG, la FCI et l'ASC. Ces organisations offrent d'importantes opportunités de financement pour certains aspects des très grands projets décrits dans le PLT. Les demandes de financement doivent toutefois correspondre aux mandats spécifiques de chaque agence et doivent généralement se conformer à des contraintes liées aux programmes qui ne correspondent pas nécessairement aux besoins du projet. Par exemple, le financement offert par la FCI comprend des capitaux pour l'infrastructure mais un fonds d'exploitation limité, ce qui ne correspond pas aux besoins à

long terme d'un grand observatoire au sol, dont la durée de vie se compte en décennies. La venue de ces nouvelles sources de financement complexifie donc les démarches pour le financement d'un projet, et en complexifiera potentiellement la structure de gestion. Il est clair, à la lecture du PLT et de la RMP, qu'une collaboration plus étroite entre les agences est nécessaire pour permettre une approche cohérente du financement des grands projets astronomiques internationaux qui sont au cœur du PLT.

C'est en vertu de ces considérations, entre autres, qu'a été créée ACURA. ACURA est devenue l'organisation représentant la communauté astronomique universitaire auprès des agences de financement. Elle regroupe 21 universités et possède une structure juridique et financière lui permettant de présenter des demandes de financement pour le développement et la gestion de grands projets au nom de la communauté universitaire. Bien que les universités membres d'ACURA possèdent elles aussi de grandes compétences en développement d'instrumentation, la majeure partie de cette expertise se retrouve présentement au CNRC-IHA. La CASCA représente tous les astronomes canadiens des établissements gouvernementaux et universitaires et s'est révélée particulièrement efficace dans la planification pour l'avenir de l'astronomie au Canada (tel qu'en témoignent le PLT et la RMP). La CASCA ne peut cependant pas, et ne devrait pas, faire des demandes de subvention pour la construction et la gestion d'installations astronomiques. Le temps est définitivement venu de formuler une stratégie nationale et un cadre de travail pour le développement de fortes initiatives nationales et collaborations internationales.

Le CRMP est d'avis qu'ACURA devrait initier et diriger des démarches pour l'établissement d'une structure de financement stable et cohérente pour les grandes et dispendieuses installations astronomiques. Ces démarches devraient être menées en concertation avec la CASCA et impliquer les agences de financement. La mise sur pied de cette structure devrait être entreprise rapidement pour que le gouvernement fédéral puisse s'engager de façon efficace dans le financement des grands projets projetés par le PLT.

En résumé:

**Le CRMP recommande** qu'ACURA, en collaboration avec la CASCA, prenne en charge le développement et l'évaluation de modèles pour l'établissement d'une nouvelle structure de développement et de gestion des grandes installations astronomiques canadiennes. Ceci devrait être fait en collaboration avec les agences concernées, le CNRC-IHA, le CRSNG et l'ASC. On devra s'assurer de préserver les forces actuelles du Canada (par exemple, le CNRC-IHA) et d'accorder aux chercheurs universitaires individuels – faisant ou non partie d'ACURA – de la flexibilité dans la poursuite de leurs propres projets en astronomie. L'un des objectifs centraux devrait être la mise en place d'un mécanisme stable et efficace pour le financement des contributions en capital et des phases d'exploitation des grands projets et installations astronomiques internationaux.

# Retombées économiques

Tel que prévu dans le document de planification original, la réalisation du PLT a d'importantes retombées économiques. Les universités et le secteur privé sont en effet impliqués de façon extensive dans tous les projets d'importance du PLT. Le CNRC-IHA a l'intention de confier à une compagnie canadienne la fabrication de l'ensemble des récepteurs à 3 mm requis pour la mise en service de ALMA. Certains aspects de ce projet ont des applications commerciales dans l'industrie des télécommunications, et on prévoit que la transmission de l'expertise technique du CNRC-IHA au secteur privé stimulera la compétitivité et mènera à de nouvelles opportunités d'affaires. Au moment d'écrire ces lignes, plusieurs compagnies ont manifesté leur intérêt et un premier contrat a été accordé pour la production d'amplificateurs à faible bruit développés pour ALMA au CNRC-IHA. Le vice-président de AMEC Dynamic Structures Ltd. a fait la déclaration suivante, qui pourrait s'appliquer à tous les projets du PLT : « ALMA est un stimulant extraordinaire pour les astronomes canadiens et l'industrie astronomique canadienne. » Citons l'exemple de DiCOS Technologies, un manufacturier de systèmes laser haute performance de Québec, qui s'est vu confier la fabrication du système laser maître (Master Laser system) de ALMA. La compagnie a estimé que la fabrication de ce produit unique en son genre améliorera de façon significative son portfolio dans le domaine des lasers stabilisés. Le corrélateur du EVLA est basé sur la technologie brevetée WIDAR, développée à l'OFR, mais la fabrication de ses composants sera confiée à l'industrie.

Le GRAC est développé avec l'aide de AMEC Dynamic Structures Ltd. (ADSL), de Port Coquitlam en Colombie-Britannique. ADSL s'est vu confier par contrat la fabrication d'une section prototype de la surface du réflecteur adaptatif. Ce travail a grandement contribué à démontrer la faisabilité du GRAC en tant qu'élément du SKA. Des discussions sont actuellement en cours avec des firmes du secteur de la photonique qui pourraient aider au développement du grand sous-système de réseaux plan-focal pour le GRAC. Les réseaux plan-focal sont l'équivalent de caméras numériques pour les fréquences radio. Le développement de cette technologie mènera à de nombreuses nouvelles opportunités commerciales. ADSL a débuté dans le domaine de l'astronomie il y a une trentaine d'années, avec le mandat, relativement modeste, de construire le dôme

du TCFH. Cette compagnie, qui est à présent le leader mondial de ce domaine spécialisé, a pu appliquer son expertise développée dans le domaine de l'astronomie à un domaine beaucoup plus vaste, soit la construction de structures dynamiques pour l'industrie du divertissement. ADSL, toujours en évolution, est impliquée non seulement dans le projet du GRAC, mais aussi dans le programme du VLOT/TMT.

AMEC a annoncé, le 14 septembre 2004, l'octroi à ADSL d'un contrat de 3,8 millions USD pour la construction du Atacama Cosmology Telescope (ACT). L'ACT est un télescope millimétrique d'une ouverture de six mètres conçu pour l'étude du fond de rayonnement cosmique. Ces observations, d'une sensibilité et d'une résolution sans précédent, mèneront à une compréhension approfondie de la formation de la structure cosmique. Ce projet est le fait d'une importante collaboration entre des institutions nord-américaines et sud-américaines, dont deux universités canadiennes. Ce télescope devra fonctionner de façon automatisée dans les conditions difficiles du plateau d'Atacama, au Chili, à 5 200 mètres d'altitude. Son design est en conséquence sujet à de très sévères exigences techniques. L'octroi de ce contrat à ADSL témoigne de la prééminence canadienne dans la conception et la fabrication des grandes structures de précision.

Du côté de l'optique de précision, l'Institut national d'optique (INO), de Québec, a été contracté pour étudier le développement de revêtements de pointe de grande durabilité pour les miroirs du TMT.

Une étude économique indépendante mentionnée dans le PLT a évalué que l'indice de rentabilité des investissements canadiens gouvernementaux dans les installations astronomiques est d'environ 2:1. Il est trop tôt pour une évaluation aussi détaillée des retombées du PLT. Il est cependant raisonnable, au vu des éléments exposés ci-dessus, de s'attendre à ce que les activités de développement actuelles présentent des retombées économiques similaires.

Du côté de l'astronomie spatiale, l'ASC a contracté un certain nombre d'industries canadiennes du domaine de l'aérospatial. Les plus gros contrats liés à l'astronomie ont été accordés à EMS Technologies Inc. (d'Ontario) pour le TSJW, comprenant des sous-contrats octroyés à ComDeV (Ontario). Mentionnons aussi les contrats accordés à ComDev et Dynacon Inc. (Ontario) dans le cadre des projets FUSE et MOST, respectivement. Routes Inc. (Ontario) a par ailleurs été contracté pour la phase A du projet UVIT.

De la recherche et du développement liés au PLT sont par ailleurs menés dans presque toutes les universités majeures du Canada, dont l'University of Victoria, l'University of British Columbia, l'University of Alberta, l'University of Lethbridge, l'University of Calgary, l'University of Waterloo, l'University of Toronto, l'Université de Montréal, l'Université McGill et l'Université Laval. En 2003-2004, 46 étudiants en science et génie en provenance de 12 universités ont pu acquérir une expérience de travail, au CNRC-IHA, dans le cadre de projets financés en grande partie par des fonds alloués pour le PLT. Il est donc

juste de dire que la réalisation du PLT a jusqu'à présent été d'une efficacité exceptionnelle pour ce qui est de la formation de personnel hautement qualifié. Les compétences scientifiques et techniques de base du Canada s'en trouvent renforcées.

Il est clair que le PLT, pris dans son ensemble, améliorera de façon significative les compétences canadiennes dans le domaine des hautes technologies, et ce autant dans le secteur privé que dans les universités. La compétitivité internationale du Canada s'en trouvera renforcée.

# Acronymes et abréviations utilisés dans ce document

AD	À déterminer
ACT	Atacama Cosmology Telescope
ACURA	Association of Canadian Universities for Research in Astronomy (Association des universités canadiennes pour la recherche en astronomie)
ADSL	AMEC Dynamic Structures Ltd.
ALMA	Atacama Large Millimeter Array (Grand réseau d'astronomie millimétrique d'Atacama)
ALTAIR	ALTitude-conjugate Adaptive optics for InfraRed (Optique adaptative conjuguée en altitude pour l'infrarouge)
ASC	Agence spatiale canadienne
ASE	Agence spatiale européenne
AUI	Associated Universities Incorporated
AURA	Association of Universities for Research in Astronomy
BAM	Balloon-borne Anisotropy Measurement (Mesure de l'anisotropie par ballon)
BLAST	Balloon-borne Large Aperture Sub-millimetre Telescope (Télescope-ballon à large ouverture sub-millimétrique)
Caltech	California Institute of Technology
CASCA	Société canadienne d'astronomie
CCDA	Centre canadien de données astronomiques
CCPA	Coalition canadienne pour la promotion de l'astronomie
CFHTLS	CFHT Legacy Survey
CGPS	Canadian Galactic Plane Survey (Relevé canadien du plan galactique)
CHP	Calcul haute performance
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
CNRC-IHA	Conseil national de recherches du Canada-Institut Herzberg d'astrophysique
CPLT	Comité de planification à long terme
CRMP	Comité pour la révision à mi-parcours



CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (du Canada)
DDP	Detailed Design Phase (phase de conception détaillée)
ESO	European Southern Observatory (Organisation européenne pour des recherches astronomiques dans l'hémisphère austral)
EVLA	Expanded Very Large Array
FCI	Fondation canadienne pour l'innovation
FCRAO	Five Colleges Radio Astronomy Observatory
FUSE	Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (Télescope d'exploration spectroscopique dans l'ultraviolet lointain)
GMOS	Gemini Multi-Object Spectrograph
	GSMT Giant Segmented Mirror Telescope
GRAC	Grand réflecteur adaptatif canadien
HARP-B	Heterodyne Array Receiver Program-B band (325-375 GHz) (réseau plan-focal hétérodyne)
HST	Hubble Space Telescope (télescope spatial Hubble)
ICAT	Institut canadien d'astrophysique théorique
IGPS	International Galactic Plane Survey (Relevé international du plan galactique)
ISI	Institute for Scientific Information
JCSA	Joint Committee on Space Astronomy (Comité mixte pour l'astronomie spatiale)
JWST	James Webb Space Telescope (télescope spatial James Webb)
MERLIN	Multi-Element Radio Linked Interferometer Network
MOST	Micro-variability and Oscillations of Stars
NAPRA	North American Program in Radio Astronomy
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGST	Next Generation Space Telescope (télescope spatial de prochaine génération)
NRAO	National Radio Astronomy Observatory (Observatoire national de radioastronomie)
NSF	National Science Foundation (Fondation nationale des sciences des États-Unis)
OFA	Observatoire fédéral d'astrophysique
OFR	Observatoire fédéral de radioastronomie
OVC	Observatoire virtuel canadien
PLT	Plan à long terme
RMP	Révision à mi-parcours
SCUBA	Submillimetre Common User Bolometer Array
SCUBA-2	SCUBA-seconde génération
SETI	Search for Extra-Terrestrial Intelligence (Recherche d'intelligences extraterrestres)
SKA	Square Kilometer Array

SRAC	Société royale d'astronomie du Canada
TCFH	Télescope Canada-France-Hawaii
TJCM	Télescope James Clerk Maxwell
TMT	Thirty Meter Telescope
UC	University of California
UVIT	Ultraviolet Imaging Telescope
VLA	Very Large Array
VLOT	Very Large Optical Telescope
VSOP	VLBI Space Observatory Program
WF8m	Wide Field Eight Metre Telescope
WIDAR	Wideband Interferometric Digital Architecture
WMAP	Wilkinson Microwave Anisotropy Probe





*Ce qui est maintenant prouvé ne fut jadis qu'imaginé.*

William Blake