

**RETURN BIDS TO:
RETOURNER LES SOUMISSIONS À:**
Travaux publics et Services gouvernementaux
Canada
Place Bonaventure, portail Sud-Est
800, rue de La Gauchetière Ouest
7 ième étage
Montréal
Québec
H5A 1L6
FAX pour soumissions: (514) 496-3822

**REQUEST FOR PROPOSAL
DEMANDE DE PROPOSITION**

**Proposal To: Public Works and Government
Services Canada**

We hereby offer to sell to Her Majesty the Queen in right of Canada, in accordance with the terms and conditions set out herein, referred to herein or attached hereto, the goods, services, and construction listed herein and on any attached sheets at the price(s) set out therefor.

**Proposition aux: Travaux Publics et Services
Gouvernementaux Canada**

Nous offrons par la présente de vendre à Sa Majesté la Reine du chef du Canada, aux conditions énoncées ou incluses par référence dans la présente et aux annexes ci-jointes, les biens, services et construction énumérés ici sur toute feuille ci-annexée, au(x) prix indiqué(s).

Comments - Commentaires

Title - Sujet Développement des technologies spat	
Solicitation No. - N° de l'invitation 9F063-140572/A	Date 2015-03-10
Client Reference No. - N° de référence du client 9F063-140572	
GETS Reference No. - N° de référence de SEAG PW-\$MTB-575-13154	
File No. - N° de dossier MTB-4-37358 (575)	CCC No./N° CCC - FMS No./N° VME
Solicitation Closes - L'invitation prend fin at - à 02:00 PM on - le 2015-04-22	
Time Zone Fuseau horaire Heure Avancée de l'Est HAE	
F.O.B. - F.A.B. Plant-Usine: <input type="checkbox"/> Destination: <input checked="" type="checkbox"/> Other-Autre: <input type="checkbox"/>	
Address Enquiries to: - Adresser toutes questions à: Jurca, Anca	Buyer Id - Id de l'acheteur mtb575
Telephone No. - N° de téléphone (514) 496-3378 ()	FAX No. - N° de FAX (514) 496-3822
Destination - of Goods, Services, and Construction: Destination - des biens, services et construction: AGENCE SPATIALE CANADIENNE GESTION DU DEV. TECHNOLOGIQUE 6767 ROUTE DE L AEROPORT ST HUBERT Québec J3Y8Y9 Canada	

Instructions: See Herein

Instructions: Voir aux présentes

Vendor/Firm Name and Address

**Raison sociale et adresse du
fournisseur/de l'entrepreneur**

Delivery Required - Livraison exigée .	Delivery Offered - Livraison proposée
Vendor/Firm Name and Address Raison sociale et adresse du fournisseur/de l'entrepreneur	
Telephone No. - N° de téléphone Facsimile No. - N° de télécopieur	
Name and title of person authorized to sign on behalf of Vendor/Firm (type or print) Nom et titre de la personne autorisée à signer au nom du fournisseur/ de l'entrepreneur (taper ou écrire en caractères d'imprimerie)	
Signature	Date

Issuing Office - Bureau de distribution

Travaux publics et Services gouvernementaux Canada
Place Bonaventure, portail Sud-Est
800, rue de La Gauchetière Ouest
7 ième étage
Montréal
Québec
H5A 1L6

Solicitation No. - N° de l'invitation

9F063-140572/A

Amd. No. - N° de la modif.

Buyer ID - Id de l'acheteur

mtb575

Client Ref. No. - N° de réf. du client

9F063-140572

File No. - N° du dossier

MTB-4-37358

CCC No./N° CCC - FMS No/ N° VME

- SVP, veuillez vous référer à la *DEMANDE DE PROPOSITIONS (DDP)* ci-jointe. -

ANNEXE A

ÉNONCÉ DE TRAVAIL

A.1 CONTEXTE DU PROGRAMME DE DÉVELOPPEMENT DES TECHNOLOGIES SPATIALES

Le Programme de développement des technologies spatiales (PDTs) a pour mandat de formuler, de mettre en œuvre et de gérer les programmes de recherche-développement (R-D) impartis en réponse aux besoins qui ont été définis. Il a pour objectif d'élaborer et de présenter des technologies stratégiques qui pourraient fortement contribuer :

- à atténuer les incertitudes techniques associées aux activités spatiales canadiennes futures;

Ainsi, le PDTs appuiera le développement de technologies afin de répondre aux besoins actuels et futurs du Programme spatial canadien.

A.2 OBJECTIFS

L'objectif du présent énoncé des travaux (ÉT) consiste à concevoir 23 technologies spatiales qui correspondent aux priorités de l'ASC et aux feuilles de route des missions. Pour chaque technologie prioritaire (TP) énumérée ci-après (voir APPENDICE A-5 de l'ANNEXE A), les travaux qui font l'objet de la demande concernent la mise au point et l'amélioration de ces technologies jusqu'à un niveau potentiel de maturité technologique (NMT) 6 (voir APPENDICE A-1 de l'ANNEXE A), en vue de réduire les incertitudes techniques et de contribuer à l'approbation et la mise en œuvre de futures missions potentielles dans l'espace qui présentent un intérêt pour le Canada.

A.3 PORTÉE

Ce document présente les exigences et les produits à livrer associés aux projets retenus dans le but d'assurer le développement et l'avancement de technologies essentielles à l'approbation et à la mise en œuvre de missions spatiales canadiennes potentielles ou prévues.

A.4 TECHNOLOGIES PRIORITAIRES

Les technologies prioritaires sont les technologies que l'ASC a sélectionnées comme étant stratégiques ou essentielles qu'il faut mettre au point pour répondre aux objectifs de l'Agence spatiale canadienne. Les contrats qui seront attribués devront correspondre à l'une des technologies prioritaires détaillées à l'APPENDICE A-5 de l'ANNEXE A.

A.5 CONVENTIONS APPLICABLES AU PRESENT DOCUMENT

Certaines sections du présent document décrivent des exigences et des spécifications dont la formulation fait appel aux verbes suivants dans le sens spécifique indiqué ci-dessous :

- a) « devoir » au présent de l'indicatif indique une exigence obligatoire;
- b) « devoir » au conditionnel indique un objectif ou une option privilégiée. On doit s'efforcer d'atteindre au mieux de ses compétences de tels objectifs ou options. Ceux-ci seront vérifiés comme les exigences. Le rendement réalisé doit être mentionné dans le rapport de vérification approprié, que le rendement visé soit atteint ou non.

- c) « pouvoir » au présent de l'indicatif indique une option;
- d) un verbe au futur ou au présent de l'indicatif indique une déclaration d'intention ou un fait, outre les cas énumérés aux points a) à c) ci-dessus.

A.6 DESCRIPTION GÉNÉRIQUE DES TÂCHES

Cette section présente les activités éventuelles qui pourraient se dérouler dans le cadre de projets types du PDTs et qui sont jugées appropriées pour les NMT visés. Les tâches varieront d'un projet à l'autre en fonction des NMT ciblés, et peuvent comprendre, sans s'y limiter, les activités de projet types énumérées ci-dessous. Il incombe à l'entrepreneur d'utiliser le tableau qui suit afin de choisir les activités appropriées en vue de satisfaire les critères de sortie liés aux NMT visés. Les NMT décrivent la progression du développement et de l'évolution des technologies. Les NMT sont décrits à l'APPENDICE A-1 de l'ANNEXE A.

Liste des activités
Gestion du projet *
▪ Réunions
▪ Contrôle de l'avancement des travaux
▪ Gestion financière
▪ Reddition de comptes
▪ Préparation de l'Ensemble final de données
▪ Gestion des risques
▪ Gestion de la configuration
Gestion des activités des sous-traitants
▪ Plan d'acquisition
Analyse des besoins
▪ Définition de la mission
▪ Définition des exigences de la mission
▪ Définition de l'environnement
▪ Contraintes et moteurs technologiques
▪ Exigences
Obtenir la documentation sur les missions actuelles ainsi que les exigences technologiques
Définir davantage les exigences technologiques (caractéristiques fonctionnelles et de rendement)
Définition du concept
▪ Analyses fonctionnelles et allocation
▪ Élaboration des concepts associés au développement et aux opérations
▪ Estimations des coûts
▪ Prévision du calendrier
▪ Analyse des risques
▪ Études des systèmes et compromis
▪ Identification des principales exigences et des risques connexes
▪ Modélisation et prototypage
Conception et plan de développement
Analyse

Simulation
Documentation / rédaction technique
Revue de définition du concept
Revue de définition préliminaire
Revue de définition critique
Plan d'élaboration de maquettes
Développement d'algorithmes
Définition des modes de défaillance du système
Analyses et effets des modes de défaillance
Développement des procédés d'assemblage
Documentation relative aux procédés et aux essais
Préparation des données d'essai
Évaluation des performances
Élaboration du système d'essai
Essai des composants
Essai de réception
Essai fonctionnel autonome
Procédures et rapports d'essai
Définition des spécifications officielles et des contrôles d'interface
Fabrication
Assemblage et essai
Intégration, essai, vérification et validation
Conformité
Essais sur le terrain et démonstrations

Tableau A-1 : Lignes directrices sur les activités à réaliser

* L'ASC considère que l'effort nominal de gestion de projet ne devrait pas excéder 15% de l'effort total.

A.7 RÉUNIONS ET PRODUITS À LIVRER PRÉVUS AU CONTRAT

Cette section fait la revue et la description des produits à livrer et des réunions à tenir selon le contrat.

La figure A-1 sert de guide. Elle donne la liste des principaux jalons d'un contrat échelonné sur douze mois. On y trouve un exemple de calendrier pour les principales réunions et les principaux produits à livrer.

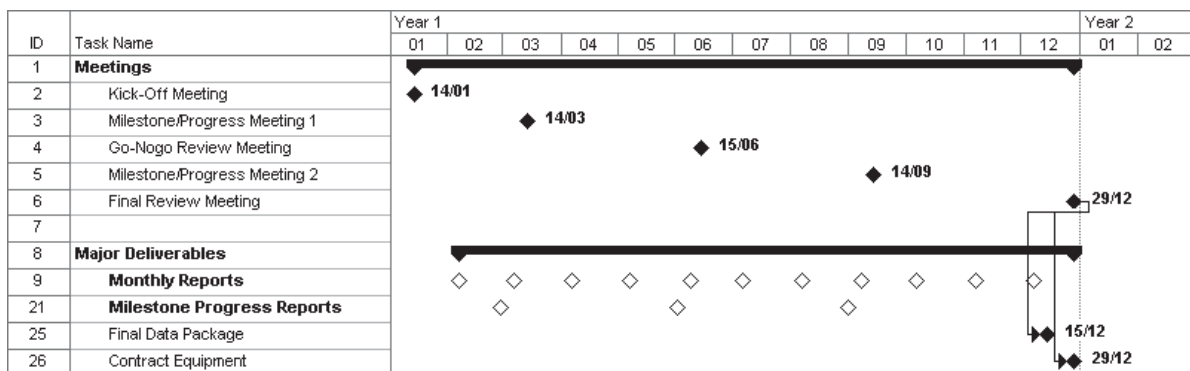


FIGURE A -1: Exemple de calendrier directeur des réunions et des produits à livrer

Légende

Year 1 = Année 1

Year 2 = Année 2

ID = N°

Task Name = Tâche

Meetings = Réunions

Kick-off meeting = Réunion de lancement

Milestone/Progress Meeting 1 = Réunion d'étape / d'avancement des travaux

Go-no go Review Meeting = Réunion sur la décision d'aller de l'avant ou non

Final review Meeting= Réunion de revue finale

Major Deliverables = Principaux produits à livrer

Monthly Reports = Rapports mensuels

Milestone Progres Reports = Rapports d'étape / d'avancement des travaux

Final Data Package = Ensemble final de données

Contract Equipment = Équipement acquis aux termes du contrat

Le tableau A-2 donne la liste des réunions prévues, des questions à porter à l'ordre du jour de ces réunions et des produits connexes à livrer dans le cadre du contrat. Outre les produits obligatoires à livrer (CDRL 1 à 16), des produits à livrer spécifiques aux technologies prioritaire sont identifiés à l'APPENDICE A-5 de l'ANNEXE A. Ces produits devraient être définis dans la proposition.

N° CDRL	Produit à livrer	Date de livraison	Version
1.	Ordres du jour de la réunion	Réunion – 2 semaines	Finale
2.	Présentation à la réunion de lancement	Réunion – 1 semaine	Finale
3.	Présentation à la réunion trimestrielle ou d'étape / d'avancement des travaux	Réunion – 2 semaines	Finale
4.	Présentation à la réunion de revue finale	Réunion – 2 semaines	Finale
5.	Procès-verbal de la réunion	Réunion + 1 semaine	Finale
6.	Registre des mesures de suivi (AIL)	Réunion + 1 semaine	Finale
7.	Rapports d'étape mensuels	Le 7 de chaque mois	Finale
8.	Rapport technique d'étape/d'avancement des travaux	Réunion – 2 semaines	Finale
9.	Divulgaration de propriété intellectuelle	Fin du contrat – 2 semaines	Finale
10.	Rapport sommaire	Fin du contrat – 2 semaines	Finale
11.	Rapport final d'étape / d'avancement des travaux	Fin du contrat – 2 semaines	
12.	Prototypes*	À la réunion de revue finale	Finale
13.	Équipement (acheté aux termes du contrat)	À la réunion de revue finale	Finale
14.	Logiciels	Réunion – 2 semaines	Finale
15.	Données / équipement fournis par le gouvernement	À la fin du contrat	Finale
16.	Ensemble final de données	Réunion finale + 1 semaine	
17.	Formulaire de déclaration des actifs - Prototypes et équipement (APPENDICE A-4 de l'ANNEXE A).	Fin du contrat – 2 semaines	Finale

TABLEAU A-2 : Calendrier des éléments contractuels

* La décision portant sur la livraison de tout prototype sera prise par l'ASC à l'achèvement de chacun des contrats.

A.7.1 DOCUMENTATION, RAPPORTS ET AUTRES PRODUITS À LIVRER

La présente section précise les produits à livrer et décrit leurs contenus et formats respectifs. Tous les documents doivent être dactylographiés, et tous les diagrammes clairement tracés et identifiés. L'entrepreneur doit présenter une copie électronique de chacun des documents à livrer. Pour qu'ils soient facilement identifiables, tous les fichiers électroniques doivent porter un titre respectant les directives de l'ASC ainsi que les règlements et les politiques du gouvernement fédéral sur la gestion de l'information. Pour désigner les documents électroniques, l'entrepreneur doit suivre les lignes directrices ci-après.

Les descriptions de contenu et de format propres aux produits à livrer spécifiques aux technologies prioritaires sont présentées à l'APPENDICE A-6 de l'ANNEXE A, Description d'éléments de données (DED).

Les documents doivent contenir 3 éléments principaux :

- L'identifiant du projet
- Le numéro du contrat
- Le numéro de suivi de la date.

WXYZ-TYPE-NUM-CIE_Numéro de contrat_numéro de suivi de la date d'envoi

L'identifiant du projet

L'identifiant du projet doit contenir les éléments suivants :

- WXYZ : acronyme du projet comptant de 4 à 8 lettres
- TYPE : acronyme de 2 lettres conforme au tableau ci-dessous

Acronyme	Description
OJ	Ordre du jour
PV	Procès-verbal de réunion
PR	Présentation
RE	Rapport d'étape
NT	Note technique

Tableau A-3 : Définition des acronymes

- NUM : un nombre séquentiel de 3 chiffres (p. ex., 001, 002, etc.)
- CIE : le nom de l'entreprise (sans espace, sans tiret)

Le numéro de contrat

Par exemple : _9F028-07-4200-03

Le numéro de suivi de la date

Date de soumission respectant le mode de présentation « année-mois-jour ». Par exemple : _envoyé2012-10-25, signifiant : envoyé le 25 octobre 2012.

Non-divulgation

Les documents n'entreront pas dans le domaine public, sauf pour ce qui concerne le Rapport sommaire (voir la section A.7.1.3). L'entrepreneur doit indiquer les avis de propriété suivants :

Sur la page couverture :

© Nom de l'entrepreneur, 20XX

RESTRICTION D'UTILISATION, DE PUBLICATION OU DE DIVULGATION D'INFORMATION PROTÉGÉE

Ce document est un bien livrable du contrat no. _____. Ce document contient de l'information appartenant à l'Entrepreneur, ou à un tiers envers lequel l'Entrepreneur pourrait avoir des obligations légales de protéger cette information contre la divulgation non autorisée, l'utilisation ou la reproduction. Toute divulgation, utilisation ou reproduction de ce document, ou de toute information contenue dans ce document, pour toute autre fin que les fins spécifiques pour lesquelles il a été divulgué, est expressément interdite sauf dans les cas où la Couronne en décide autrement. Lorsque de la propriété intellectuelle sera divulguée à des fins gouvernementales, la Couronne établira des mécanismes pour protéger l'information.

Sur toutes les pages à l'intérieur du document :

L'utilisation, la reproduction ou la divulgation de ce document ou de toute information contenue aux présentes sont assujetties à l'avis de propriété en couverture du présent document.

A.7.1.1 RAPPORT D'ÉTAPE MENSUEL

L'entrepreneur devra fournir un rapport d'étape mensuel au plus tard le 7 de chaque mois. Une copie électronique de ce rapport doit être envoyée à l'autorité de programme (AP) et à l'autorité contractante (AC). Les formats électroniques acceptés sont MS Word, PDF et HTML. Les instructions concernant la désignation des fichiers électroniques sont données à la section A.7.1. Chaque rapport doit porter sur l'avancement des travaux et comprendre au moins les renseignements suivants :

- la situation du projet par rapport au calendrier et, en cas de retard, la cause de celui-ci et une révision proposée du calendrier et/ou un plan de reprise. Le rapport doit comprendre un calendrier à jour indiquant les progrès réalisés et les modifications, le cas échéant;
- la situation du projet par rapport au budget et, en cas d'écart, la cause de celui-ci et une révision proposée du budget et/ou un plan de reprise. Le rapport mensuel doit inclure une mise à jour du tableau des mouvements de trésorerie indiquant pour chaque activité/jalon/lot de travaux les dates de début et de fin planifiées ainsi que les mouvements de trésorerie réels, accompagnés des dates réelles de début et de fin;
- un résumé des progrès techniques du travail pour chaque lot de travaux, incluant :
 - la description des principaux articles mis au point, achetés ou construits pendant la période visée par la période de rapport ;
 - la liste des rapports techniques internes produits pendant la période de rapport;
- un résumé des travaux proposés pour le mois suivant incluant :

- la description des articles importants à acheter pendant la prochaine période de référence, y compris les progiciels;

- un résumé des problèmes rencontrés, de leur impact sur le projet et des solutions proposées ou mises en place;
- les rapports des voyages effectués dans le cadre du contrat pour assister à une conférence ou visiter des installations (seulement si ces voyages sont financés dans le cadre du contrat).

Une évaluation globale de l'état du projet doit être fournie au début de chaque rapport. L'objectif est d'avoir un aperçu de l'état d'avancement du projet.

Les informations suivantes doivent être indiquées dans le format ci-dessous :

Élément de projet	Statut	Tendance	Commentaire
Coûts	Vert	↑	
Échéancier	Vert	↓	
Résultats/CER	Rouge	↔	
Programmatique	Jaune	↑	

La première colonne présente le paramètre du projet qui doit être examiné et évalué (**élément de projet**). Les quatre paramètres à évaluer sont les suivants :

- Coûts
- Échéancier
- Résultats par rapport au critère d'évaluation du rendement (CER)
- programmatique

Les éléments « Coûts », « Échéancier » et « Résultats/critères d'évaluation du rendement » sont des paramètres quantitatifs, tandis que l'élément « Programmatique » est un paramètre qualitatif.

La deuxième colonne du tableau précédent indique l'état du projet relativement à chaque paramètre.

Le tableau suivant donne une définition des divers états pouvant être associés aux trois premiers paramètres du projet.

Indicateur d'état	Interprétation		
	Coûts	Échéancier	Technique
Vert	Conforme ou inférieur au budget prévu pour ce projet	Conforme au calendrier prévu ou en avance sur celui-ci	Conforme aux critères d'évaluation du rendement (CER)
Jaune	Dépassement compris entre 0 et 5 %	Retard compris entre 0 % et 5 %	Non conforme aux CER mais comporte un plan de reprise approuvé
Rouge	Dépassement supérieur à 5 %	Retard supérieur à 5 %	Non conforme aux CER et ne comporte

			pas de plan de reprise approuvé
--	--	--	---------------------------------

Pour ce qui concerne l'élément « Programmatique », l'état est évalué en fonction des trois autres éléments. Bien que l'élément « Programmatique » tienne compte des indicateurs de coûts, d'échéancier et de résultats/CER, il est principalement influencé par les éléments névralgiques à ce point au cours du projet.

La troisième colonne constitue une évaluation de la tendance de l'évolution des paramètres du projet. Les choix sont les suivants :

Indicateur de tendance	Interprétation
↑	La situation s'est améliorée depuis le dernier examen
↓	La situation a empiré depuis le dernier examen
↔	La situation n'a pas changé depuis le dernier examen

La quatrième colonne permet d'inscrire des commentaires sur l'état et la tendance des différents paramètres du projet ou de formuler un commentaire d'ordre général.

A.7.1.2 RAPPORTS TECHNIQUES D'ÉTAPE/D'AVANCEMENT DES TRAVAUX

Au moins deux (2) semaines avant la date prévue des réunions portant sur les étapes et/ou l'avancement des travaux, l'entrepreneur doit soumettre une ébauche du rapport d'étape et/ou d'avancement des travaux à l'AP, à l'AT et à l'AC. L'AP examinera le rapport et pourront, s'il y a lieu, demander des modifications. L'entrepreneur soumettra ensuite la version révisée du rapport.

Le rapport d'étape et/ou d'avancement des travaux, qui doit être un document protégé, renfermera une description complète des travaux entrepris et des résultats obtenus. À ce titre, le rapport doit comprendre tous les documents techniques pertinents pour appuyer les tâches techniques, de fabrication et/ou d'essai. Il doit comprendre également une version à jour, le cas échéant, des plans techniques et de gestion soumis initialement. De plus, la quantité de détails sur les travaux effectués jusqu'alors doit permettre à l'AP et l'AT de faire une évaluation complète et précise de l'état d'avancement des travaux.

La description complète des travaux entrepris et des résultats obtenus comprend :

- la revue des résultats et des réalisations techniques;
- une évaluation des résultats par rapport aux CER présentés dans la soumission (appuyée par les documents de conceptions nécessaires, les dessins techniques, les plans d'essais, les résultats d'essais et autres documents semblables);
- un énoncé clair des progrès technologiques requis pour atteindre les objectifs;
- une description détaillée de l'ensemble du matériel acquis pendant cette période;
- toutes les autres constatations faites par l'entrepreneur avant le jalon;
- les changements dans la composition de l'équipe, la structure de répartition des tâches (SRT), le niveau d'effort, le calendrier et la matrice d'affectation des ressources.

A.7.1.3 RAPPORT SOMMAIRE

Le rapport sommaire entrera dans le domaine public (p.ex. bibliothèque de l'ASC, publications ou site Web de l'ASC, pour favoriser le transfert et la diffusion des technologies spatiales). Le rapport ne doit pas dépasser dix (10) pages. Tout renseignement confidentiel touchant les retombées et la commercialisation possible, ou toute information qui pourrait constituer une divulgation de la FIP, devrait figurer plutôt dans le rapport technique.

On recommande la structure suivante pour le rapport sommaire :

1. page couverture (tel que décrit à l'APPENDICE A-2 de l'ANNEXE A);
2. introduction ;
3. objectifs techniques;
4. approche / tâches du projet;
5. réalisations;
6. technologie :
 - a) description/état d'avancement de la technologie (NMT initial, NMT visé et NMT réel au terme du développement),
 - b) aspects innovateurs;
 - c) champs d'application;
7. potentiel commercial, avantages et répercussions sur l'entreprise;
8. droits de propriété intellectuelle;
9. publications et références.

L'ASC et l'entrepreneur, ou d'autres personnes désignées par eux, ont un droit illimité à la reproduction et à la distribution du rapport sommaire. Le rapport doit comprendre l'avis de propriété suivant (« propriétaire de la FIP », le propriétaire étant l'ASC ou l'entrepreneur) :

Tous droits réservés 20XX © « propriétaire de la FIP »

Ce document peut être reproduit pourvu que « le nom de l'entrepreneur » ou l'Agence spatiale canadienne soit mentionné.

A.7.1.4 RAPPORT TECHNIQUE

Le rapport présentera un exposé détaillé de tous les travaux exécutés dans le cadre du contrat. Cela permettra à l'AP de faire une évaluation complète et exacte des travaux. Le rapport doit contenir les éléments suivants, s'il y a lieu :

- a) page couverture (tel que décrit à l'APPENDICE A-2 de l'ANNEXE A);
- b) résumé;
- c) renseignements de base et références aux documents pertinents;
- d) revue des résultats et des réalisations;

S'il y a lieu, les éléments suivants doivent être inclus :

- un résumé de la recherche documentaire accompagné, en annexe, de copies des principales publications (sans qu'aucun droit d'auteur soit enfreint);

- la spécification des exigences associées au système et aux interfaces;
 - les études de faisabilité, la définition des risques technologiques, les autres approches possibles et les résultats de l'analyse des compromis;
 - les documents de conception;
 - les documents de mise en œuvre;
 - les plans et les procédures d'essai;
 - Les résultats de la démonstration du concept;
- e) l'évaluation des résultats relativement aux critères d'évaluation du rendement. Cet élément devrait appuyer un énoncé qualifiant et/ou quantifiant les trois aspects suivants :
- rendement : le projet ne respecte aucun critère ou respecte/surpasse quelques-uns/plusieurs/l'ensemble des critères d'évaluation du rendement;
 - incidence : le projet ne présente aucune retombée ou présente quelques/plusieurs retombées positives réelles/potentielles;
 - succès : le projet n'a aucun potentiel de réussite/a un potentiel limité/a un excellent potentiel de réussite, ou est déjà une réussite;
- f) évaluation du niveau de maturité technologique (NMT atteint);
- g) description détaillée de l'ensemble de l'équipement acquis pendant la période visée;
- h) autres constatations faites par l'entrepreneur;
- i) recommandations, y compris celles visant des possibilités de R-D subséquente;
- j) conclusion;
- k) tableaux, dessins techniques et figures connexes;
- l) tout renseignement supplémentaire pertinent que l'entrepreneur juge important.

A.7.1.5 DIVULGATION PAR L'ENTREPRENEUR DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

À la fin du contrat, la liste et les descriptions de toutes les BIP requises pour que l'ASC puisse utiliser la FIP doit être fournie lors de la réunion de revue finale. Une liste et une description de toutes les FIP découlant des travaux du projet doivent également être fournies. En outre, l'entrepreneur remplira et soumettra comme document autonome le document intitulé « Divulcation par l'entrepreneur de la propriété intellectuelle » figurant à l'APPENDICE A-3 de l'ANNEXE A. L'entrepreneur doit présenter une version électronique de cette divulgation.

A.7.1.6 PROTOTYPES ET ÉQUIPEMENT

Tous les prototypes développés durant le contrat doivent être divulgués à la Couronne et examinés par l'AP qui décidera comment en disposer et/ou les livrer.

L'entrepreneur doit également tenir à jour une liste des articles non consommables achetés ou fabriqués dans le cadre du contrat ou fournis par le gouvernement. L'entrepreneur doit compléter et fournir le formulaire de déclaration d'actifs disponible à l'APPENDICE A-4 de l'ANNEXE A. L'entrepreneur recevra des directives sur la façon de disposer de ces actifs (équipement) après que l'AP et l'AT auront examiné la liste.

A.7.1.7 LOGICIELS

L'entrepreneur doit fournir une version électronique de tous ses documents décrivant le cycle de développement des logiciels, y compris les manuels d'utilisation, d'entretien et d'exploitation. Les logiciels développés doivent aussi être fournis sous forme de code source bien documenté et être accompagnés des bibliothèques d'exécution et des fichiers exécutables.

A.7.2 RÉUNIONS

Conformément au tableau A-4, l'entrepreneur établira un calendrier pour les réunions suivantes et il en assurera la coordination avec tous les intervenants :

- réunion de lancement;
- réunions d'étape
- réunions d'avancement des travaux;
- réunion d'autorisation des travaux;
- réunion de revue finale.

Réunion	Date	Lieu
Réunion de lancement	Au plus tard 2 semaines après l'attribution du contrat	Locaux de l'entrepreneur
Réunions d'étape	Au moins tous les 4 mois ou lorsque spécifié dans l'énoncé des travaux spécifique	Locaux de l'ASC, à moins d'être spécifié autrement dans l'énoncé de travaux spécifique
Réunions d'avancement des travaux	Tenues seulement si l'intervalle entre les réunions d'étape est de plus de 4 mois.	Téléconférence
Réunion d'autorisation des travaux	Réunion à mi-chemin du contrat. Peut être tenue avant si jugé critique/pertinent. A lieu en même temps qu'une réunion d'étape.	
Réunion de revue finale	À la fin du contrat	Locaux de l'ASC

Tableau A-4 : Calendrier des réunions et des décisions

Pour chaque réunion, l'entrepreneur :

- proposera à l'AP et à l'AT l'objet et l'ordre du jour de la réunion au moins dix jours ouvrables avant sa tenue;
- fera parvenir à l'AP et à l'AT, tous les rapports et documents techniques se rapportant aux travaux qui font l'objet de la réunion;
- rédigera le procès-verbal;

- fera parvenir à l'AP, dans les cinq jours ouvrables suivant la réunion, une (1) copie électronique du procès-verbal de la réunion.

Pour les réunions de projet, l'entrepreneur devrait faire un montage de documents de soutien sous forme électronique et autre matériel de présentation. Il devrait en fournir une (1) copie électronique à l'AP. Il devrait également réaliser des enregistrements sur bandes vidéo documentées accompagnant le matériel visuel de présentation pour étayer toute démonstration de la technologie. Une copie du matériel visuel de soutien devrait être remise à l'AP.

A.7.2.1 RÉUNION DE LANCEMENT

Dans les deux semaines suivant l'attribution du contrat (ou à une date fixée par entente mutuelle entre l'AP et l'entrepreneur), une réunion de lancement devra avoir lieu pour :

- soumettre et examiner les **critères d'évaluation du rendement (CER)** proposés. Il s'agit d'une liste de critères qui seront utilisés pendant toute la durée du projet pour évaluer la progression de l'entrepreneur sur le plan technologique. La liste des critères fera partie de la soumission de l'entrepreneur, sera acceptée à la réunion de lancement et fera l'objet d'un examen à chaque réunion d'étape/d'avancement des travaux ainsi qu'à la réunion d'autorisation des travaux au milieu de la période du contrat;
- revue des produits à livrer dans le cadre du contrat;
- revue des exigences des travaux;
- revue des calendriers des travaux;
- revue du plan d'évaluation et d'atténuation des risques;
- revue de la structure de répartition des tâches et des lots de travaux;
- revue de la capacité de livrer les lots de travaux selon les coûts et le calendrier convenus;
- discussion sur la BIP et revue de la liste fournie;
- discussion sur la FIP attendue et revue de la liste fournie (revoir la divulgation des points associés à la FIP);
- revue de la base de paiement et du format des demandes de paiement;
- revue des exigences en matière de rapport;
- discussion sur toute question touchant les licences;
- rencontre du personnel affecté aux travaux.

A.7.2.2 RÉUNIONS D'ÉTAPE ET D'AVANCEMENT DES TRAVAUX

Tout au long de la durée du contrat, des réunions de revue d'étape et d'avancement des travaux auront lieu périodiquement dans le but de favoriser l'échange d'information en personne ainsi que les discussions et la prise de décisions sur l'avancement des travaux. En théorie, une réunion de revue d'étape aura lieu chaque fois qu'un jalon aura été atteint. Entre les jalons, des réunions de revue de l'avancement des travaux devraient avoir lieu si l'intervalle entre les réunions d'étape est de plus de 4 mois. La date de ces réunions sera fixée par l'entrepreneur et elles pourront avoir lieu par téléconférence.

Les réunions de revue d'étape et d'avancement des travaux visent à donner à l'entrepreneur, à l'AP, à l'AT et à tout participant invité l'occasion de faire la revue et de discuter en détail des points suivants :

- le contenu du rapport de revue d'étape/de l'avancement des travaux;

- le pourcentage actuel d'avancement et de réalisation;
- les aspects techniques de chaque tâche;
- le rendement obtenu par rapport aux CER;
- les décisions d'autorisation des travaux rendues par l'ASC, s'il y a lieu;
- les résultats pertinents atteints;
- les questions liées à la gestion de projet;
- les autres points jugés pertinents.

A.7.2.3 RÉUNION D'AUTORISATION DES TRAVAUX ET DÉCISIONS

Une revue d'étape ou d'avancement des travaux servira également de réunion d'autorisation des travaux à la mi-parcours du contrat (p. ex., quand environ 50 % de la valeur du contrat aura été atteinte). Cette réunion servira de fondement à la décision d'entreprendre ou non les activités subséquentes prévues au contrat. La décision se fondera essentiellement sur la revue des CER respectés par rapport aux CER acceptés lors de la réunion de lancement et/ou les critères révisés lors de réunions d'étape ou d'avancement des travaux précédentes.

Une décision d'autoriser les travaux sera également prise à la fin de chaque année financière du gouvernement (31 mars) si aucune réunion d'autorisation des travaux ou réunion de revue finale n'est prévue en mars. Cette décision sera basée sur la disponibilité des fonds du gouvernement à ce moment-là.

L'entrepreneur peut demander la tenue de réunions spéciales avec l'ASC, au besoin, pour résoudre des problèmes imprévus et urgents. L'ASC peut également demander la tenue de réunions spéciales avec l'entrepreneur. La sélection des participants dépendra de la nature de la question à traiter.

L'AP et l'AT se réservent le droit d'inviter aux réunions d'étape ou d'avancement des travaux toute personne compétente (fonctionnaires ou autres personnes assujetties à l'entente de non-divulgaration). Le personnel clé de l'entrepreneur participant aux travaux faisant l'objet de la revue assistera à ces réunions. Le lieu précis, la date et l'heure des réunions sur l'état d'avancement seront fixés par entente mutuelle entre l'AP et l'entrepreneur, tout en respectant la section A.7.2 RÉUNION.

A.7.2.4 RÉUNION DE REVUE FINALE

La réunion de revue finale est tenue à la fin du contrat. Cette réunion sert spécifiquement à discuter en détail des résultats obtenus (par rapport aux CER convenus) et des activités de suivi proposées.

La réunion de revue finale vise à donner à l'entrepreneur, à l'AP, à l'AT et à tout participant invité l'occasion de faire la revue et de discuter en détail des points suivants :

- le contenu de l'ensemble final de données;
- les rapports sommaire et technique;
- Divulgaration de propriété intellectuelle;
- matériel de présentation utilisé lors des réunions;
- les prototypes, les dessins techniques, le matériel, les logiciels et l'équipement, s'il y a lieu;
- Formulaire de déclaration des actifs ; et

- autres éléments jugés pertinents.

L'ensemble final de données est un assemblage des versions finales de tous les livrables identifiés, plans et devis, schémas, listes de pièces et données d'ingénierie développés durant le projet.

L'AP et l'AT se réservent le droit d'inviter toute personne compétente (fonctionnaires ou autres personnes assujetties à l'entente de non-divulgence) à la réunion de revue finale. Le personnel clé de l'entrepreneur participant aux travaux faisant l'objet de la revue devrait assister à cette réunion. Le lieu, la date et l'heure de la réunion finale seront fixés par entente mutuelle entre l'AP et l'entrepreneur.

A.7.3 FORMULAIRES

La fiche documentaire de rapport (APPENDICE A-2 de l'ANNEXE A) devrait être intégrée au rapport sommaire et au rapport technique.

L'entrepreneur doit fournir le formulaire de déclaration d'actifs donné à l'APPENDICE A-4 de l'ANNEXE A. L'ASC émettra des codes à barres d'inventaire à la fin du contrat. L'entrepreneur recevra des directives sur la façon de disposer de ces actifs (prototypes et équipement) après que l'AP et l'AT auront examiné la liste. De plus, l'entrepreneur doit remplir le formulaire de divulgation de propriété intellectuelle (APPENDICE A-3) et le soumettre dans l'ensemble final des données.

Liste des appendices

APPENDICE A-1	Niveaux de maturité technologique (NMT)
APPENDICE A-2	Page documentaire de rapport
APPENDICE A-3	Divulgence par l'entrepreneur de la propriété intellectuelle
APPENDICE A-4	Formulaire de déclaration des actifs - prototypes et équipement
APPENDICE A-5	Liste des technologies prioritaires et énoncés des travaux associés
APPENDICE A-6	Descriptions d'éléments de données.

ANNEXE A-1

NIVEAUX DE MATURITÉ TECHNOLOGIQUE (NMT)

Source : RD-1 (CSA-ST-GDL-0001 - Révision A - Lignes directrices pour l'évaluation du niveau de maturité technologique)

Niveau de maturité	Définition	Explication
NMT 1	Observation et consignation des principes de base	Niveau le plus bas de maturité technologique. La recherche scientifique commence à se traduire en recherche-développement appliquée.
NMT 2	Formulation du concept technologique ou de l'application	Une fois les principes de base observés, des applications pratiques peuvent être inventées et la R-D peut être amorcée. Les applications sont de nature spéculative et peuvent ne pas être éprouvées.
NMT 3	Fonction critique analytique et expérimentale et/ou validation de principe caractéristique	La recherche-développement active est amorcée, notamment les études analytiques et en laboratoire, pour valider les prévisions concernant la technologie.
NMT 4	Validation de composantes et/ou de maquettes en laboratoire	Les éléments technologiques de base sont intégrés de sorte que l'on puisse démontrer qu'ils fonctionnent ensemble.
NMT 5	Validation de la composante et (ou) de la maquette dans un milieu pertinent.	Les éléments technologiques de base sont intégrés à d'autres éléments d'appui suffisamment réalistes de sorte qu'ils puissent être mis à l'essai dans un environnement simulé.
NMT 6	Démonstration d'un modèle ou prototype de système/sous-système dans un environnement pertinent (terrestre ou spatial).	Un modèle représentatif ou un prototype de système est mis à l'essai dans un environnement pertinent.
NMT 7	Démonstration du prototype du système dans un environnement spatial.	Prototype de système amené au niveau opérationnel prévu ou proche de celui-ci.
NMT 8	Système réalisé, complété et « homologué pour le vol » au moyen d'essais et d'une démonstration (au sol ou dans l'espace).	Dans un système réel, il a été démontré que la technologie fonctionne dans sa forme finale et dans les conditions prévues.
NMT 9	Validation en vol du système réel par la réussite de la conduite opérationnelle de missions.	Le système intégrant la nouvelle technologie sous sa forme finale a été utilisé dans des conditions de mission réelles.

Table A-1-1 : Définition des niveaux de maturité technologique

APPENDICE A-2


Agence spatiale canadienne Canadian Space Agency	FICHE DOCUMENTAIRE DE RAPPORT	
Date du rapport :		
Titre :		
Auteur(s) :		
Nom et adresse de l'organisme réalisant les travaux :		
N° et titre du contrat :		
Nom et adresse de l'organisme de parrainage : Agence spatiale canadienne 6767, route de l'Aéroport Saint-Hubert (Québec) Canada J3Y 8Y9 Tél. : 450-926-4800 Autorité scientifique : Gestionnaire de projet :		
Résumé :		
Mots clés :		
Notes supplémentaires :		
Distribution/Disponibilité :		

Tableau A-2-1: Gabarit de fiche documentaire de rapport

APPENDICE A-3

Divulgarion par l'entrepreneur de la propriété intellectuelle

Instructions à l'entrepreneur

Identification

L'entrepreneur doit répondre aux 7 questions suivantes lorsque la propriété intellectuelle originale (FIP) est créée dans le cadre du contrat avec l'ASC.

1. Nom légal de l'entrepreneur :
2. Titre du projet appuyé par le contrat :
3. Gestionnaire de projet à l'ASC chargé du contrat :
4. Numéro du contrat :
5. Date de la divulgation :
6. Propriété intellectuelle (PI) de base de l'entrepreneur mise à contribution dans le projet :
 - ☐ Oui_ Compléter le tableau 1 ci-joint (Divulgation de la propriété intellectuelle de base)
 - ☐ Non
7. Dans le cas où le Canada détiendrait les droits sur la PI originale, est-ce que selon vous, certains éléments de PI auraient avantage à être brevetés par le Canada?
 - ☐ Non applicable, la PI originale réside avec l'entrepreneur
 - ☐ Oui_ Compléter le Tableau 3 ci-joint (Renseignements supplémentaires sur la FIP appartenant au Canada)
 - ☐ Non

<i>Pour l'entrepreneur</i> <hr/> <i>Signature</i>	 <hr/> <i>Date</i>
<i>Pour le gestionnaire de projet de l'ASC</i> <hr/> <i>Signature</i>	 <hr/> <i>Date</i>

BIP

- À la fin du contrat, l'entrepreneur doit revoir et mettre à jour la divulgation de la BIP (tableau 1) s'il y a lieu, avant la clôture du contrat. Seuls les éléments de BIP qui ont été utilisés pour développer les éléments de FIP devraient être énumérés.

FIP

- À la fin du contrat, l'entrepreneur doit remplir le tableau 2 (Divulgation de la FIP développée dans le cadre du contrat).
- Si la FIP appartient au Canada, l'entrepreneur doit aussi remplir le tableau 3 (Renseignements supplémentaires sur la FIP appartenant au Canada).
- L'entrepreneur doit également, avant la clôture du contrat, signer la Divulgation par l'entrepreneur de la propriété intellectuelle dûment remplie (incluant le tableau 1 et le tableau 2) et la livrer au gestionnaire de projet de l'ASC chargé du contrat afin qu'il l'approuve.

Instructions générales concernant les tableaux sur la BIP et la FIP

- Les tableaux doivent être structurés conformément au formulaire sur la PI fourni par l'ASC.
- Chaque élément de PI doit être assorti d'un numéro d'identification unique de manière que l'on puisse relier facilement les éléments des différents tableaux.
- Les titres des éléments de PI doivent être suffisamment descriptifs pour permettre aux intervenants du projet de se faire une idée générale de la nature de la PI.
- Les numéros et les titres complets des documents de référence doivent être inclus.

<u>Définitions</u>
<u>Propriété intellectuelle (PI)</u> : s'entend de toute information ou connaissance de nature industrielle, scientifique, technique, commerciale, artistique ou créatrice quelle qu'elle soit concernant le travail en question, enregistrée sous quelque forme ou sur quelque support que ce soit; comprend les brevets, les droits d'auteur, les dessins industriels, les topographies de circuits intégrés, les motifs, les échantillons, le savoir-faire, les prototypes, les rapports, les plans, les dessins, les logiciels, etc.
<u>Propriété intellectuelle de base (BIP)</u> : PI intégrée aux travaux ou nécessaire à l'exécution de ces derniers et qui est la propriété de l'entrepreneur, de ses sous-traitants ou de tout autre tiers, ou qui constitue des renseignements brevetés ou confidentiels pour eux.
<u>Propriété intellectuelle originale (FIP)</u> : désigne toute propriété intellectuelle conçue, développée, produite ou mise en application pour la première fois dans le cadre des travaux prévus au contrat.

Tableau 1. Divulgence de la propriété intellectuelle de base (BIP) utilisée dans le projet par l'entrepreneur

1	2	3	4	5	6	7	8	9
N° ID de la BIP	Élément de projet	Titre de la BIP	Type de PI	Type d'accès à la BIP requis pour utiliser ou améliorer la FIP	Description de la BIP	Documents de référence	Origine de la BIP	Propriétaire de la BIP
Fournir le n° de BIP propre à chaque élément de BIP de BIP utilisé dans le projet, p. ex., BIP-CON-99 ou CON est l'acronyme de contrat	Décrire le système ou le sous-système dans lequel la BIP est intégrée (p. ex., caméra, unité de commande, etc.)	Utiliser un titre qui décrit l'élément de BIP intégré aux travaux	La BIP se présente-t-elle sous forme d'invention, de secret commercial, de droits d'auteur, de concept, brevet?	Décrire comment le Canada pourra obtenir la BIP pour pouvoir utiliser la FIP (p. ex., données de BIP intégrées à des documents à livrer, logiciel sous forme de code objet, etc.)	Décrire brièvement la nature de la BIP (p. ex., conception mécanique, algorithme, logiciel, méthode, etc.)	Donner le numéro et le titre complet des documents de référence ou la BIP est décrite en détail. Le document de référence doit être disponible pour le Canada. Fournir le numéro de brevet pour le Canada si le BIP est breveté.	Décrire les circonstances de la création de la BIP. A-t-elle été développée dans le cadre de travaux de recherche internes ou dans le cadre d'un contrat avec le Canada? Si c'est le cas, fournir le numéro du contrat.	Nommer l'organisme qui détient la BIP. Si ce n'est pas l'entrepreneur principal, donner le nom du sous-traitant.

Tableau 2. Divulgence de la propriété intellectuelle originale (FIP) développée dans le cadre du contrat

1	2	3	4	5	6	7	8	9
N° ID de la FIP	Élément de projet	Titre de la FIP	Type de FIP	Description de la FIP	Documents de référence	BIP utilisée pour produire la FIP	Propriétaire de la FIP	Brevetabilité
Fournir un n° de FIP propre à chaque élément de FIP	Décrire le système ou le sous-système pour lequel l'élément de FIP a été développé (p ex., caméra, unité de commande, etc.)	Utiliser un titre qui décrit l'élément de FIP	Préciser la forme de la FIP, p. ex., invention, secret commercial, droits d'auteur, concept industriel, brevet	Préciser la nature de la FIP (p. ex., logiciel, conception, algorithme, etc.)	Donner le numéro et le titre complet des documents de référence où la FIP est décrite en détail. Le document de référence doit être disponible pour le Canada.	BIP donnée en référence au tableau 1, p. ex., BIP-CON-2, 15	Indiquer l'organisme à qui appartient la FIP, p. ex., l'entrepreneur, le Canada* ou un sous-traitant. Si ce n'est pas l'entrepreneur principal, donner le nom du sous-traitant. *Si le Canada détient la FIP, remplir le tableau 3 ci-dessous Fournir la référence aux clauses contractuelles visant la propriété de la FIP.	Dans le cas où la FIP appartient au Canada, mettre un « X » tout élément de PI qui serait brevetable et compléter le tableau 3 seulement pour ce FIP
p. ex., FIP-CON-99								
où CON est l'acronyme de contrat								

Tableau 3. Renseignements supplémentaires sur la FIP appartenant au Canada

1	2	3	4	5	6	7	8
N° ID de la FIP	Titre de la FIP	Aspects de la FIP qui sont inédits, utiles et non évidents	Limites ou désavantages de la FIP	Références dans la documentation ou brevets associés à la FIP	La FIP a-t-elle fait l'objet de prototypes, d'essais ou de démonstrations (p. ex., analyse, simulation, matériel)? Fournir les résultats	Inventeur(s)	La FIP a-t-elle été divulguée à d'autres parties?
Le n° ID devrait être le même que celui de l'élément de FIP correspondant au tableau 2	Le titre de la FIP devrait être le même que celui de l'élément de FIP correspondant au tableau 2	En quoi la FIP règle-t-elle un problème (utile) et qu'y a-t-il d'inédit dans cette solution (inédit)?	Décrire les limites de l'appareil, du produit ou du procédé actuel.	Fournir des références dans la documentation publiée ou les brevets éventuels associés au problème ou au sujet.	Décrire brièvement la performance du procédé, du produit ou de l'appareil au cours des essais ou des simulations. Fournir le numéro du document de référence faisant état de la performance, le cas échéant.	Donner le nom et les coordonnées des personnes qui ont créé la FIP	La FIP ou n'importe lequel de ses éléments ont-ils été publiés ou divulgués à de tierces parties? Si c'est le cas, indiquer où, quand et à qui.

APPENDICE A-4
FORMULAIRE DE DÉCLARATION DES ACTIFS – PROTOTYPES ET ÉQUIPMENT

Déclaration concernant l'équipement : le soumissionnaire doit remplir le formulaire afin d'indiquer l'ensemble de l'équipement acquis au cours du contrat.

N° de l'équipement	Description de l'équipement	Numéro d'inventaire	Valeur d'acquisition	Devise	Date d'acquisition	Fabricant	Pays	Numéro du modèle	Numéro de série

Tableau A-4-1 : Formulaire de déclaration concernant l'équipement

Liste des prototypes : le soumissionnaire doit fournir la liste de tous les prototypes mis au point dans le cadre du contrat.

Nom du prototype	Description du prototype

Tableau A-4-2 : Formulaire de déclaration concernant les prototypes

* La décision au sujet de la livraison de tout prototype sera prise par l'ASC à l'achèvement de chaque contrat.
Le Canada peut se réserver le droit de ne pas demander de dédommagement ou le remplacement d'un équipement fourni par l'État si l'exploitation dudit équipement fait partie intégrante des travaux de recherche-développement proposés.

APPENDICE A-5

LISTE DES TECHNOLOGIES PRIORITAIRES ET ÉNONCÉS DES TRAVAUX ASSOCIÉS

Rang	N° de TP	Titre de la technologie prioritaire
1	TP 1	Système d'odométrie visuelle intégré (EVO)
2	TP 2	Spectromètre imageur léger et haute performance pour mesurer la couleur des eaux
3	TP 3	Enceinte composite pour utilisation à température cryogénique
4	TP 4	Système de microcapteur sans fil pour la surveillance des données biométriques des membres de l'équipage
5	TP 5	Imageur hyperspectral compact à base de filtres optiques
6	TP 6	Détection des dangers au sol pour les rovers planétaires
7	TP 7	Adaptation d'une caméra de comptage de photons uniques pour des applications d'imagerie NIR et de détection à longue portée
8	TP 8	CATS modulaire
9	TP 9	Joints spatioqualifiables entre un polymère renforcé de fibre de carbone (CFRP) et de l'aluminium
10	TP 10	LIBS/Capteur Raman intégré
11	TP 11	Détecteur à balayage sur large fauchée
12	TP 12	Développement d'un système d'optique d'entrée à champ de vision large
13	TP 13	Survie de rover planétaire et de ses instruments en environnement extrême : Survie pendant la nuit lunaire
14	TP 14	Communications optiques LIDAR
15	TP 15	Ensemble de détecteurs QEYSSat
16	TP 16	Capteurs biologiques pour installation automatisée de culture cellulaire
17	TP 17	Mécanisme de translation cryogénique pour les futures missions d'astronomie spatiale exploitant l'infrarouge lointain
18	TP 18	Mise au point d'un amplificateur de grande puissance au nitrure de gallium (GaN) pour les applications en bande C et X
19	TP 19	Récepteur SAR multicanaux
20	TP 20	Prototype de capteur actif compact (CAST)
21	TP 21	Imageur auroral dans l'ultraviolet de pointe à comptage d'électrons uniques
22	TP 22	Appareil d'imagerie plasma miniature
23	TP 23	Développement d'un concept d'ALI

Tableau A5-1 : Liste des technologies prioritaires

ÉNONCÉS DES TRAVAUX SPÉCIFIQUES AUX TECHNOLOGIES PRIORITAIRES

Table des matières

Système d'odométrie visuelle intégré (EVO)	26
Spectromètre imageur léger et haute performance pour mesurer la couleur des eaux	44
Enceinte composite pour utilisation à température cryogénique.....	59
Système de microcapteur sans fil pour la surveillance des données biométriques des membres de l'équipage	68
Imageur hyperspectral compact à base de filtres optiques	82
Détection des dangers au sol pour les rovers planétaires	95
Adaptation d'une caméra de comptage de photons uniques pour des applications d'imagerie NIR et de détection à longue portée.....	106
CATS modulaire	114
Jointes spatioqualifiables entre un polymère renforcé de fibre de carbone (CFRP) et de l'aluminium	126
LIBS/Capteur Raman intégré.....	132
Détecteur à balayage sur large fauchée	141
Développement d'un système d'optique d'entrée à champ de vision large	150
Survie de rover planétaire et de ses instruments en environnement extrême : Survie pendant la nuit lunaire	156
Communications optiques LIDAR	175
Ensemble de détecteurs QEYSSat	185
Capteurs biologiques pour installation automatisée de culture cellulaire	198
Mécanisme de translation cryogénique pour les futures missions d'astronomie spatiale exploitant l'infrarouge lointain	205
Mise au point d'un amplificateur de grande puissance au nitrure de gallium (GaN) pour les applications en bande C et X	217
Récepteur SAR multicanaux.....	227
Prototype de capteur actif compact (CAST)	236
Imageur auroral dans l'ultraviolet de pointe à comptage d'électrons uniques.....	250
Appareil d'imagerie plasma miniature	258
Développement d'un concept d'ALI	264

Technologie Prioritaire 1 (TP 1)

Système d'odométrie visuelle intégrée (EVO)

Système d'odométrie visuelle intégré (EVO)

Liste des sigles et acronymes

API	Interface de programmation des applications
ASC	Agence spatiale canadienne
EVO	Odométrie visuelle intégrée
FPGA	Matrice prédiffusée programmable par l'utilisateur
GPS	Système mondial de localisation
IMU	Unité de mesure inertielle
IRD	Document sur les exigences en matière d'interface
MAN	Modèle altimétrique numérique
MSE	Mobilité de surface pour l'exploration
NMT	Niveau de maturité technologique
OV	Odométrie visuelle
ROS	Système d'exploitation robotique
TA	Terrain analogue
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation de la maturité des technologies et des risques connexes
UTC	Unité de traitement centrale

Documents applicables

Cette section présente les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables ci-dessous peuvent être obtenus des sites FTP (protocole de transfert de fichiers) suivants : SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 depuis le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>; SE-AD-5 depuis le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

N° AD.	Numéro de document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	CSA Technology Readiness Levels and Assessment Guidelines (Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation)	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	Sept. 2012
SE-S2-AD-1.	CSA-ESM-RD-0001	Rover to Payload Interface Requirements Document (IRD). <i>Nota : l'IRD, dans la version mentionnée, est applicable et fait partie intégrante du présent document dans les mesures spécifiées ci-après.</i>	C	23 sept. 2010

N° AD.	Numéro de document	Titre du document	N° de rév.	Date
		ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/		

Documents de référence

Cette section présente des documents qui contiennent des renseignements additionnels susceptibles d'être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD.	Numéro de document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide du référentiel des connaissances en gestion de projet. Institut de gestion de projet, intégré	4 th Edition	2008
SE-RD-2.	ESTEC, TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	Norme de revue technique de la conception des systèmes de l'ASC	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	Méthodes et pratiques de systémique de l'ASC	Rév. B	10 mars 2010
SE-S2-RD-1.	CSA-EXCO-MAN-0001	Exploration Core Program Mars Emulation Terrain User Guide (en anglais) ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/excore-prototyping/pub/CSA_Mars_Emulation_Terrain_User_Guide.pdf		
SE-S2-RD-2.	S.O.	Robot Operating System (ROS) (en anglais seulement) : http://www.ros.org	Hydro	S.O.
SE-S2-RD-3.	S.O.	ROS PointCloud2 Message definition (en anglais seulement) http://www.ros.org/doc/api/sensor_msgs/html/msg/PointCloud2.html	S.O.	S.O.
SE-S2-RD-4.	S.O.	ROS Image Message definition (en anglais seulement) http://www.ros.org/doc/api/sensor_msgs/html/msg/Image.html	S.O.	S.O.
SE-S2-RD-5.	MIL-DTL-38999	Detail Specification Connectors, Electrical, Circular, Miniature, High Density, Quick Disconnect (Bayonet, Threaded, And Breech Coupling), Environment Resistant, Removable Crimp And Hermetic Solder Contacts, General Specification FOR http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-38999L_11330/	L	30 mai 2008
SE-S2-RD-6.	MIL-DTL-38999/26	Detail Specification Sheet Connectors, Electrical, Plug, Circular, Threaded, Straight, Removable Crimp Contacts, Series III, Metric http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-38999_26E_302/	E	11 juin 2001

N° de RD.	Numéro de document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-S2-RD-7.	S.O.	Doxygen http://www.stack.nl/~dimitri/doxygen/	La plus récente	La plus récente

On peut obtenir le document SE-RD-2 depuis le site FTP (protocole de transfert de fichiers) suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

Les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 peuvent être obtenus depuis le site FTP suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

Des infrastructures comme le Système mondial de localisation (GPS) peuvent être utilisées au sol afin d'établir l'emplacement du matériel. Lorsqu'ils sont sur d'autres planètes, les rovers et les modules d'atterrissage doivent s'en remettre à d'autres technologies afin de calculer leur positionnement mondial et relatif. En effet, les unités de mesure du moment inertiel, les suiveurs solaires, les suiveurs stellaires, les odomètres de roue et l'imagerie sont tous des sources d'information qui sont exploitées afin d'obtenir une localisation la plus précise possible. L'odométrie visuelle utilise des séquences d'images afin d'établir l'emplacement relatif et parfois global dans différentes applications autonomes ou semi-autonomes (p. ex., navigation de rovers, atterrissage, opérations de proximité et amarrage). Par exemple, les rovers de MSE (Mobilité de surface pour l'exploration) exploitent divers algorithmes ainsi que des OV afin d'améliorer la précision de leur localisation. Toutefois, les algorithmes d'OV sont extrêmement exigeants en matière de puissance de calcul. Chacun des algorithmes nécessite un effort non négligeable pour la connexion et l'essai avec des ordinateurs intégrés.

L'utilisation d'une solution hybride faisant appel à des cœurs logiques et à un processeur constitue l'approche préférée permettant de maximiser l'utilisation de processeurs spatioqualifiés. Le développement de cœurs logiques personnalisés est une façon de libérer les CPU et de maintenir un haut niveau de rendement, et ce, même dans le contexte d'une unité de traitement à faible puissance. Au cours des dernières années, des outils et des techniques ont été mis au point pour faciliter la mise en œuvre logique et pour faciliter cette tâche. Cela est tout particulièrement nécessaire dans le contexte des algorithmes d'OV qui exigent beaucoup de puissance de l'UTC et où de telles transformations sont absolument nécessaires pour assurer des possibilités de vol dans l'espace.

Le premier objectif de ce développement technologique est d'élaborer des odomètres visuels intégrés peu énergivores exploitant des cœurs logiques à matrice prédiffusée programmable par l'utilisateur. Le système d'odométrie visuelle (OV) doit être modulaire et autonome pour que l'on puisse l'utiliser facilement à bord de diverses plateformes. L'EVO doit intégrer des algorithmes à la fine pointe de la technologie et peut comprendre des algorithmes d'imagerie intégrés comme des algorithmes de mise en correspondance de points de caméra stéréoscopique. Les interfaces d'alimentation, mécaniques et logicielles doivent être bien documentées afin de faciliter leur intégration au matériel existant. Le deuxième objectif est d'évaluer et de caractériser le rendement de l'EVO dans des environnements et des terrains analogues.

Ce développement technologique compte quatre parties. La première partie consiste en un examen et en une évaluation de haut niveau des algorithmes d'OV existants. Les algorithmes les plus prometteurs doivent être recommandés en vue de la sélection des algorithmes qui seront intégrés aux modèles logiques. La deuxième partie vise le développement d'une carte prototype à l'aide d'une puissante UTC afin de démontrer, de caractériser et de mettre à l'essai les algorithmes d'OV choisis. La troisième partie vise la conception, la mise en œuvre et l'intégration des algorithmes d'OV choisis dans les cœurs logiques. Enfin, la dernière partie vise à démontrer, à caractériser et à tester le rendement des algorithmes choisis dans un système d'EVO sur des terrains analogues de l'ASC ou des milieux équivalents aux fins de développement du prototype.

Portée des travaux

La portée des travaux décrite ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'ANNEXE A. L'activité de développement technologique comprend quatre tâches. Le Tableau 1 contient la description des tâches et du niveau d'effort attendu pour l'ensemble du projet. Les résultats des essais doivent être communiqués dès que possible à l'ASC.

Tableau 1: Définition des tâches

Tâche	Description	Niveau d'effort (ligne directrice)
T1 – Sondage sur les algorithmes d'OV et recommandations	Examen et évaluation des algorithmes d'OV existants. Recommandation d'algorithmes d'OV et de traitement d'images en vue de leur intégration.	~10 %
T2 – Prototypes d'OV et essais	Élaborer une carte prototype à l'aide d'une UTC puissante afin de démontrer, de caractériser et mettre à l'essai les algorithmes d'OV et de traitement d'images choisis.	~30 %
T2 – Conception et mise en œuvre de l'EVO	Concevoir, mettre en œuvre et intégrer l'EVO dans les cœurs logiques et déployer les algorithmes d'OV et d'imagerie choisis dans la plateforme intégrée.	~30 %
T3 – Mise à l'essai de l'EVO	Démontrer, caractériser et tester le rendement des algorithmes d'OV et de traitement d'images choisis dans l'EVO et dans l'environnement pertinent retenu.	~30 %

L'entrepreneur doit évaluer la maturité des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système proposé ainsi que les risques connexes, conformément aux exigences qui sont indiquées dans les Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation (SE-AD-1), à l'aide des documents de travail fournis par l'ASC – Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (SE-AD-4) et Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) pour chaque CT, et Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données (SE-AD-3). L'entrepreneur doit décrire les caractéristiques de rendement de la technologie relativement aux besoins de la mission ciblée dans un environnement donné.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique (communément appelé « Feuille de route technologique »), lequel plan doit faire état des développements technologiques requis afin de satisfaire aux besoins de la mission. Il doit également fournir un plan visant l'atteinte des NMT 6 et 8 accompagné d'un échéancier. La feuille de route technologique doit être fournie dans le même format que la Feuille de route technologique (SE-AD-5).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences de rendement

Exigences fonctionnelles

OBLIGATOIRE-FNC-01 Caméra stéréoscopique intégrée : L'EVO doit être équipé d'un système de caméras stéréoscopiques en couleurs.

Justification : Les caméras pourraient également être utiles pour d'autres applications, notamment pour la détermination du positionnement du rover ou pour la réalisation d'expériences.

OBLIGATOIRE-FNC-02 Capture et stockage d'images : À la demande de l'utilisateur, l'EVO doit capter des images au moyen de chacune des caméras et les rendre disponibles de manière indépendante.

OBLIGATOIRE-FNC-03 Vecteur d'état relatif : L'EVO doit produire un vecteur d'état indiquant la position 3D linéaire, la position angulaire ainsi que la vitesse et il doit aussi produire la matrice de covariance connexe.

Justification : Le vecteur d'état et la matrice de covariance pourraient servir d'intrant à un observateur dynamique de niveau supérieur (p. ex., un filtre Kalman étendu). Le vecteur d'état est exprimé par rapport à un cadre de référence planétaire.

OBLIGATOIRE-FNC-04 Odométrie visuelle: L'EVO doit intégrer des algorithmes d'odométrie visuelle exploitant une seule ou les deux caméras.

Nota : Aucun autre capteur, telle une unité de mesure (IMU), n'est permis.

OBLIGATOIRE-FNC-05 Données stéréo : L'EVO doit générer et rendre disponible :

- a) le nuage de points en 3D de son champ de vision;
- b) l'image connexe des disparités;
- c) les images non corrigées captées par la caméra;
- d) les images rectifiées captées par la caméra.

OBLIGATOIRE-FNC-06 Mode de diffusion en continu des données stéréoscopiques : Lorsque commandé de basculer en mode de diffusion continue, l'EVO doit diffuser en continu des données stéréoscopiques, tel que défini à l'exigence OBLIGATOIRE-FNC-05 et ce, au débit indiqué à l'exigence OBLIGATOIRE-PRF-07.

OBLIGATOIRE-FNC-07 Données stéréoscopiques sur demande : Lorsqu'il n'est pas en mode de diffusion continue, l'EVO doit, à la demande de l'utilisateur, produire des données stéréoscopiques tel qu'indiqué dans l'exigence OBLIGATOIRE-FNC-05.

Exigences physiques

OBLIGATOIRE-PHY-01 Masse : La masse de l'EVO ne doit pas dépasser 750 g, incluant la masse de la caméra stéréoscopique.

OBLIGATOIRE-PHY-02 Conception monolithique : L'EVO doit être conçu de façon monolithique (les systèmes d'avionique, les caméras, les systèmes d'alimentation connexes et les cartes de traitement doivent tenir en une seule et même enceinte).

OBLIGATOIRE-PHY-03 Dimensions : Le volume de l'EVO ne doit pas dépasser 1 600 cm³.
Nota : Le volume s'appuie sur un boîtier ayant les dimensions suivantes : 16 cm x 12 cm x 8 cm (Longueur x largeur x hauteur). D'autres dimensions peuvent être proposées.

Exigences de rendement

OBLIGATOIRE-PRF-01 Résolution de la caméra : Chacune des caméras doit avoir une résolution d'au moins 1024x768 pixels.

OBLIGATOIRE-PRF-02 Données produites par les caméras : L'EVO doit permettre la saisie de données numériques à 8, 16 et 24 bits.

OBLIGATOIRE-PRF-03 Capacité de stockage : L'EVO doit avoir une capacité minimale de stockage de 32 gigaoctets pour le stockage d'images.

OBLIGATOIRE-PRF-04 Puissance utile : En mode d'exploitation, l'EVO doit consommer moins de 5 Watts, puissance du système de chauffage exclue.

Nota : Des éléments chauffants pourraient devoir être installés afin de satisfaire les exigences environnementales.

OBLIGATOIRE-PRF-05 Tension transitoire : L'EVO doit présenter un rendement nominal lorsqu'il est assujéti à des perturbations de puissance et des surtensions, tel qu'indiqué dans les documents ci-dessous :

- a) ESM-IRD-ELE-004;
- b) ESM-IRD-ELE-005;
- c) ESM-IRD-ELE-029 du document SE-S2-AD-1.

OBLIGATOIRE-PRF-06 Taux de traitement du vecteur d'état relatif : L'EVO doit traiter le vecteur d'état relatif à un taux minimal de 10 Hz.

CIBLE-PRF-01 Marge d'erreur du vecteur d'état relatif : La position linéaire estimée par l'EVO ne devrait pas avoir une erreur supérieure à 1 % de la distance parcourue.

Nota : Il y a plusieurs façons d'interpréter l'erreur de localisation de 1 %. La figure ci-dessous illustre l'interprétation qui s'applique tout au long de ce contrat.

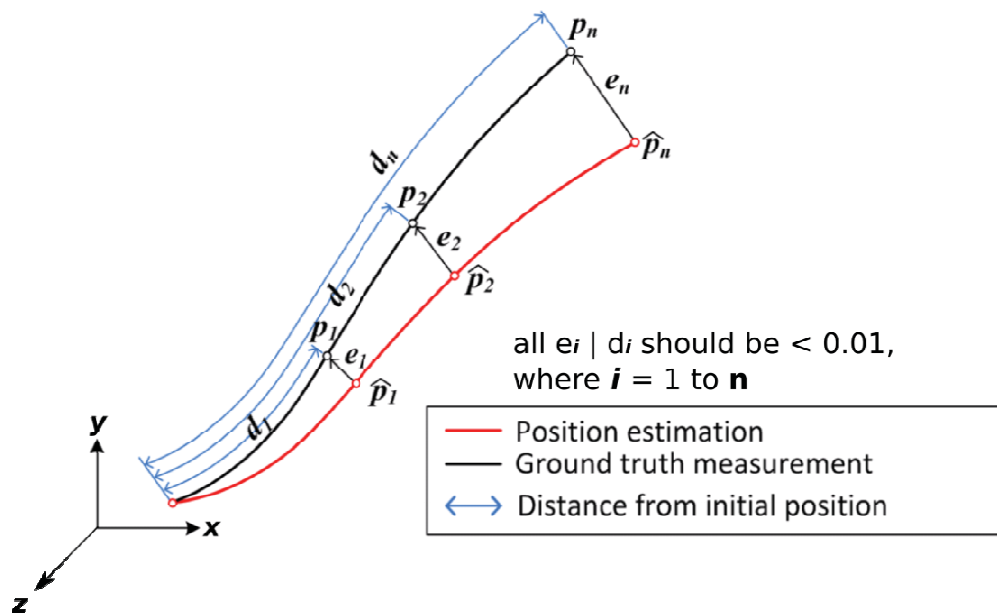


Figure 1: Erreur de position relative

OBLIGATOIRE-PRF-07 Vitesse de traitement des données stéréoscopiques : L'EVO doit pouvoir produire des données stéréoscopiques tel qu'indiqué dans l'exigence OBLIGATOIRE-FNC-05 à un taux de 10 Hz.

Exigences en matière d'interface

OBLIGATOIRE-INT-01 Plaque d'interface de la plateforme/charge utile : L'EVO doit être assujéti à la plateforme au moyen de l'interface mécanique décrite à l'exigence ESM-IRD-IP-001 du document SE-S2-AD-1.

OBLIGATOIRE-INT-02 Disposition des boulons sur la plaque d'interface : L'interface mécanique de l'EVO doit être compatible avec la disposition des boulons M8 décrite à l'exigence ESM-IRD-IP-012 du document SE-S2-AD-1.

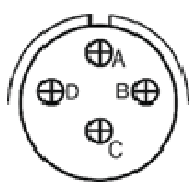
Nota : Idéalement, l'EVO devrait viser une disposition où les boulons sont espacés de 100 mm et compatible avec l'exigence ESM-IRD-IP-012 du document SE-S2-AD-1.

OBLIGATOIRE-INT-03 Tension d'entrée : L'EVO doit fonctionner à partir d'une tension nominale d'alimentation de 28 V c.c. La tension non stabilisée est de 30 V c.c. et elle peut varier de 22 V à 34 V, tel que définie aux exigences ESM-IRD-ELE-003, ESM-IRD-ELE-004 et ESM-IRD-ELE-005 du document SE-S2-AD-1.

OBLIGATOIRE-INT-04 Connecteur d'alimentation de la charge utile : Le câble d'alimentation de la charge utile de l'EVO doit se terminer par un connecteur mâle à 4 pôles MIL-DTL-38999 (SE-S2-RD-5) D38999/26FC4PN (SE-S2-RD-6) tel qu'illustré à la Figure 2 et au tableau 2 (réf. ESM-IRD-CON-004 du document SE-S2-AD-1) et comprendre les serre-câbles appropriés.

Justification : Ce connecteur s'enfichera dans le connecteur c.c. standard de la plaque d'interface rover-charge utile défini à l'exigence ESM-IRD-CON-003 du document SE-S2-AD-1.

Tableau 2 : Disposition des broches du connecteur d'alimentation

Broche	Description du signal	Disposition des broches
A	BUS +	
B	Mise à la terre du châssis	
C	Retour BUS	
D	Mise à la terre châssis	

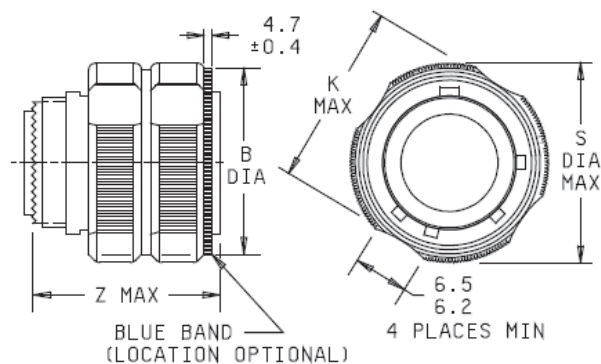


Figure 2: connecteur d'alimentation D38999/26 branchant l'EVO dans les prises c.c. de la plateforme

OBLIGATOIRE-INT-05 Interface de données : Le connecteur Ethernet d'interface des données doit respecter les spécifications indiquées à l'exigence ESM-IRD-CON-010 du document SE-S2-AD-1. Le connecteur est illustré à la Figure 3.

Nota : Ce connecteur se branchera dans le connecteur de données de la plaque d'interface overcharge utile, tel que défini à l'exigence ESM-IRD-CON-009 du document SE-S2-AD-1.

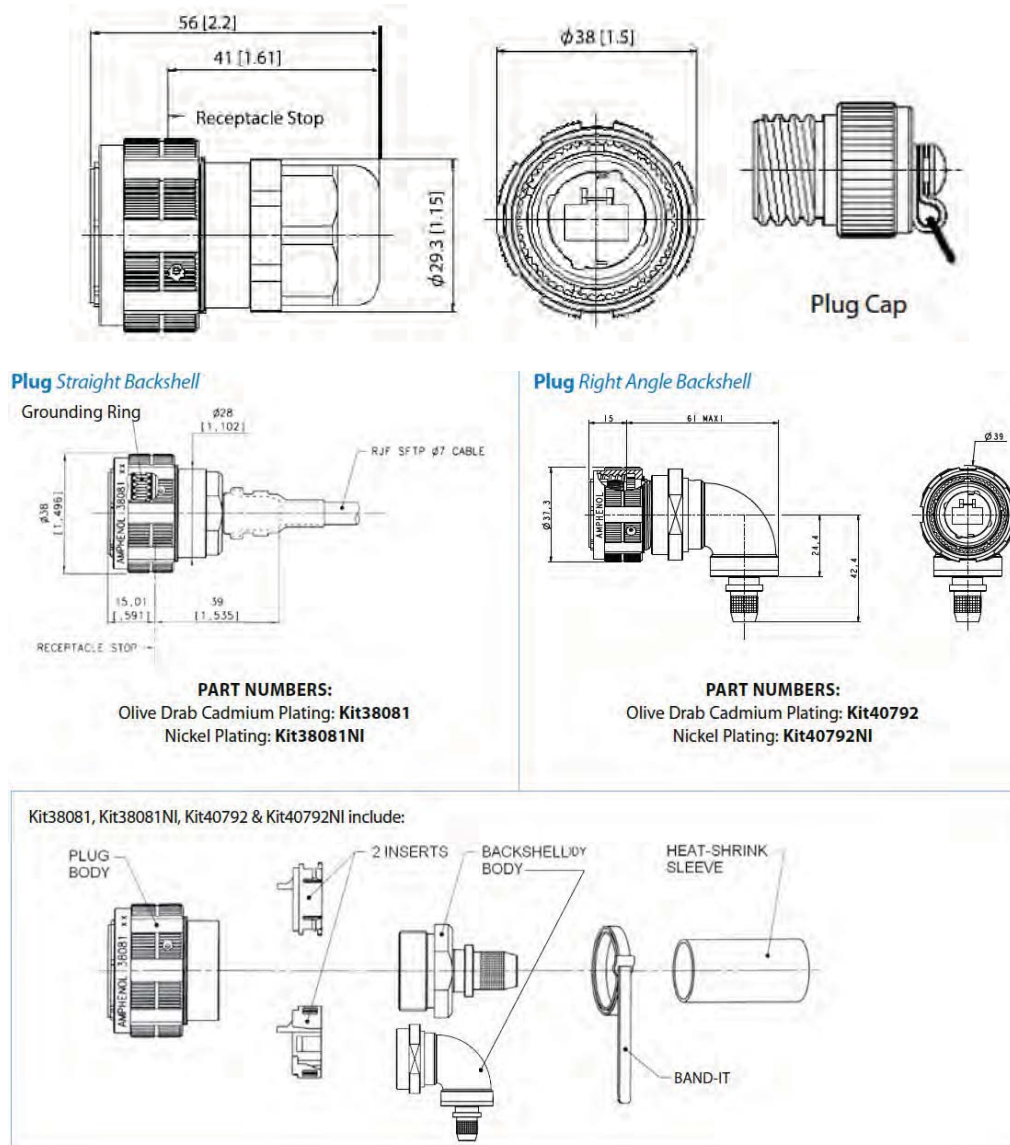


Figure 3: Connecteur Amphenol RJTV à câble souple pour port de communications

OBLIGATOIRE-INT-06 Réseau Ethernet : L'EVO doit exploiter un réseau Ethernet tel que spécifié à l'exigence ESM-IRD-COM-002 du document SE-S2-AD-1.

OBLIGATOIRE-INT-07 Adresse IP : L'adresse IP de l'EVO doit pouvoir être configurée, conformément à l'exigence ESM-IRD-COM-005 du document SE-S2-AD-1.

OBLIGATOIRE-INT-08 Ports reconfigurables : Les différents ports réseau utilisés par l'EVO doivent pouvoir être reconfigurés, conformément à l'exigence ESM-IRD-COM-007 du document SE-S2-AD-1.

Exigences logicielles

- OBLIGATOIRE-SW-01 API :** L'EVO doit comprendre une interface de programmation d'applications (API).
- OBLIGATOIRE-SW-02 Langage de programmation de l'API :** L'API doit être programmé en C/C++ tel que dicté par l'exigence ESM-IRD-COM-022 du document SE-S2-AD-1.
- OBLIGATOIRE-SW-03 Fichier d'en-tête de l'API :** L'API doit comprendre un en-tête simple ou, si celle-ci est programmée en C++, un fichier de classe unique; voir l'exigence ESM-IRD-COM-023 du document SE-S2-AD-1 pour de plus amples détails.
- OBLIGATOIRE-SW-04 Documentation relative à l'API :** L'API doit être documentée au moyen de Doxygen (SE-S2-RD-7).
- OBLIGATOIRE-SW-05 Système d'exploitation :** L'API doit être compatible avec les plateformes x86 et x86_64 Ubuntu 14.04.
- OBLIGATOIRE-SW-06 Commandes de l'EVO :** Toutes les commandes de l'EVO doivent être accessibles par l'API, conformément à l'exigence ESM-IRD-COM-027 du document SE-S2-AD-1.
- OBLIGATOIRE-SW-07 Télémessure EVO :** Toutes les données de télémessure de l'EVO doivent être accessibles par l'API, conformément à l'exigence ESM-IRD-COM-028 du document SE-S2-AD-1.
- OBLIGATOIRE-SW-08 Interface du ROS :** L'EVO doit comprendre l'interface du ROS ([Système d'exploitation robotique](#)) (SE-S2-RD-2).
- Nota : Il n'est pas nécessaire que le pilote du ROS soit hébergé dans l'EVO. Il peut, par exemple, être hébergé sur un ordinateur à distance. Le pilote du ROS doit tourner sur un ordinateur à distance, il doit être compatible avec les architectures Ubuntu 14.04 x86 et x86_64.*
- OBLIGATOIRE-SW-09 Commandes du ROS :** Toutes les commandes prises en charge par l'EVO doivent être rendues accessibles par l'interface du ROS.
- OBLIGATOIRE-SW-010 Télémessure du ROS :** Toutes les informations de télémessure doivent être diffusées par le biais de l'interface du ROS.
- OBLIGATOIRE-SW-011 Données stéréoscopiques du ROS :** Les données stéréoscopiques doivent être publiées dans les sujets ROS des types spécifiés :
- a) Image brute (non corrigée) de la caméra gauche : left/image_raw (sensor_msgs/Image) (SE-S2-RD-2)¹
 - b) Image corrigée de la caméra gauche : left/image_rect (sensor_msgs/Image) (SE-S2-RD-2)¹
 - c) Image brute (non corrigée) de la caméra droite : right/image_raw (sensor_msgs/Image) (SE-S2-RD-2)¹
 - d)) Image corrigée de la caméra droite : right/image_rect (sensor_msgs/Image) (SE-S2-RD-2)¹
 - e) Image des écarts : écarts (stereo_msgs/DisparityImage)
 - f) Nuage de points 3D en couleurs RGB : points2 (sensor_msgs/PointCloud2) (SE-S2-RD-3)
 - g) Paramètres d'étalonnage de la caméra gauche : left/camera_info (sensor_msgs/CameraInfo)

¹ À l'aide de la trousse ROS image_transport

h) Paramètres d'étalonnage de la caméra de droite : right/camera_info
(sensor_msgs/CameraInfo)

Exigences environnementales

Le développement technologique vise la conception, la fabrication et la mise à l'essai d'un EVO pouvant être facilement utilisé sur toute plateforme représentative (p. ex., un rover, un module d'atterrissage, etc.) et ce, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur dans des terrains naturels et dans des conditions d'éclairage naturel. L'EVO utilise des interfaces mécaniques, logicielles et d'alimentation qui sont compatibles avec les plateformes d'ESM. Afin de tester et de démontrer adéquatement les capacités de l'EVO, on a ciblé comme environnement opérationnel, des terrains analogues ou des installations intérieures simulant les caractéristiques que l'on pourrait retrouver sur la Lune ou sur Mars. De façon générale, les sites retenus pour l'EVO présenteront les propriétés suivantes :

- grande zone aride en grande partie exempte de végétation;
- terrains non structurés, accidentés et inégaux;
- sol constitué de roches, de poussière et/ou de sable, consolidé ou non.

Sur le terrain, l'EVO sera confronté à des conditions climatiques difficiles, comme :

- une température ambiante variant de -10°C à 40°C;
- de forts vents déplaçant de la poussière;
- une exposition directe au Soleil ou des conditions d'obscurité totale;
- de la faible pluie et de la boue.

Avant de déployer l'EVO dans un site analogue éloigné, une campagne de caractérisation de son rendement aura lieu dans le terrain analogue (TA) de l'ASC ou dans une installation équivalente proposant un environnement pertinent. Le TA est situé au siège social de l'ASC à Saint-Hubert, au Québec (Canada). Le TA a été conçu et construit dans le but d'appuyer le développement et la mise à l'essai des rovers planétaires et pour valider les concepts d'atterrisseurs. Ainsi, la morphologie du terrain reproduit un vaste éventail de caractéristiques topographiques types de la Lune et de Mars. Cette diversité topographique sert à tester les sous-systèmes des plateformes d'exploration (p. ex., des systèmes de vision). La Figure 4 montre une photo du TA de l'ASC captée depuis les airs. Le TA fait 60 mètres de large par 120 mètres de long et présente un écart de 4 mètres entre son point le plus bas et son point le plus haut.



Figure 4 : Photo aérienne du terrain analogue de l'ASC

De plus amples renseignements sur le TA de l'ASC sont fournis dans le SE-S2-RD-1.

OBLIGATOIRE-ENV-01 Température d'exploitation : L'EVO doit satisfaire les exigences qui le concernent lorsqu'il est exposé à des températures comprises entre -10 et +40 degrés Celsius.

OBLIGATOIRE-ENV-02 Boue : L'EVO doit survivre et satisfaire toutes les exigences, sauf les exigences de rendement, même s'il est éclaboussé de terre humide ou de boue.

Nota : L'exploitation du véhicule après une averse signifie que de la boue pourrait potentiellement l'éclabousser. On ne vise toutefois pas à ce que l'EVO fonctionne dans la boue.

OBLIGATOIRE-ENV-03 Poussière et imperméabilisation : L'EVO doit comprendre une protection environnementale de niveau IP54 ou mieux.

Nota : L'EVO n'a pas à satisfaire aux exigences opérationnelles qui le concernent dans les précipitations (neige, pluie, etc.). L'EVO doit résister à de légères précipitations (pluie ou neige), mais il n'est pas nécessaire qu'il soit hydrofuge. Il doit satisfaire cette exigence et pouvoir résister aux très fines particules de poussière et au sable projeté contre lui par de forts vents.

OBLIGATOIRE-ENV-04 Rayonnement solaire : L'EVO doit satisfaire les exigences qui le concernent dans un environnement de rayonnement solaire dans l'environnement analogue.

Vérification

Le Tableau 3 présente les méthodes de vérification qui doivent être utilisées pour vérifier les exigences contenues dans le présent ET. Toutes les exigences doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

- 1) analyse (y compris les simulations);
- 2) examen de la conception;
- 3) démonstration;
- 4) inspection;
- 5) essai.

Ces méthodes sont décrites dans les sous-sections ci-après.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). Dans la mesure du possible, l'analyse devrait être fondée sur des données d'essais, comme : l'extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesuré pour déterminer le rendement en fin de vie ou la combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré. L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou par elle-même comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) seront sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire servira à prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle définira les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Examen de la conception

Un examen de la conception sera utilisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Démonstration

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Cette forme de vérification s'applique aux exigences « oui/non » qui peuvent être vérifiées à l'aide d'une mesure quelconque. Elle sert à démontrer que l'équipement fonctionne selon les exigences ou à vérifier des caractéristiques

comme les facteurs humains, les caractéristiques d'ingénierie, les services, les caractéristiques d'accès, la transportabilité, etc.

Inspection

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

Essai

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre va décliner au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Tableau 3 : Méthodes de vérification

Exigence	Nom	Méthode	Note
I: Inspection, E: Essai, A: Analyse, D: Démonstration, RDC: Revue de la conception			
OBLIGATOIRE-FNC-01	Caméra stéréoscopique intégrée	RDC, I	
OBLIGATOIRE-FNC-02	Captation et stockage d'images	D	
OBLIGATOIRE-FNC-03	Vecteur d'état relatif	D	
MANDATORY-FNC-04	Odométrie visuelle	D	
MANDATORY-FNC-05	Données stéréoscopiques	D	
MANDATORY-FNC-06	Mode de diffusion continue des données stéréoscopiques	D	
OBLIGATOIRE-FNC-07	Données stéréoscopiques sur demande	D	
OBLIGATOIRE-PHY-01	Masse	E	
OBLIGATOIRE-PHY-02	Conception monolithique	I	
OBLIGATOIRE-PHY-03	Dimension	RDC, I	
OBLIGATOIRE-PRF-01	Résolution de la caméra	RDC	
OBLIGATOIRE-PRF-02	Données produites par les caméras	RDC	
OBLIGATOIRE-PRF-03	Capacité de stockage	RDC	
OBLIGATOIRE-PRF-04	Puissance utile	E	
OBLIGATOIRE-PRF-05	Tension transitoire	E	
OBLIGATOIRE-PRF-06	Taux de traitement du vecteur d'état relatif	E	
CIBLE-PRF-01	Marge d'erreur du vecteur d'état	E	

Exigence	Nom	Méthode	Note
I: Inspection, E: Essai, A: Analyse, D: Démonstration, RDC: Revue de la conception			
	relatif		
OBLIGATOIRE-PRF-07	Vitesse de traitement des données stéréoscopiques	E	
OBLIGATOIRE-INT-01	Plaque d'interface de la plateforme/charge utile	RDC, I	
OBLIGATOIRE-INT-02	Disposition des boulons sur la plaque d'interface	RDC, I	
OBLIGATOIRE-INT-03	Tension d'entrée	E	
OBLIGATOIRE-INT-04	Connecteur d'alimentation de la charge utile	RDC, I	
OBLIGATOIRE-INT-05	Interface de données	RDC, I	
OBLIGATOIRE-INT-06	Interface de données	D	
OBLIGATOIRE-INT-07	Adresse IP	D	
OBLIGATOIRE-INT-08	Ports reconfigurables	D	
OBLIGATOIRE-SW-01	API	I	
OBLIGATOIRE-SW-02	Langage de programmation de l'API	I	
OBLIGATOIRE-SW-03	Fichier d'en-tête de l'API	I	
OBLIGATOIRE-SW-04	Documentation de l'API	I	
OBLIGATOIRE-SW-05	Système d'exploitation	D	
OBLIGATOIRE-SW-06	Commandes de l'EVO	D	
OBLIGATOIRE-SW-07	Télémessure de l'EVO	D	
OBLIGATOIRE-SW-08	Interface du ROS	D	
OBLIGATOIRE-SW-09	Commandes du ROS	D	
OBLIGATOIRE-SW-010	Télémessure du ROS	D	
MANDATORY-SW-011	Données stéréo du ROS	D	
OBLIGATOIRE-ENV-01	Température d'exploitation	RDC, D	
OBLIGATOIRE-ENV-02	Boue	RDC, D	
OBLIGATOIRE-ENV-03	Poussière et imperméabilisation	RDC, D	
OBLIGATOIRE-ENV-04	Rayonnement solaire	D	

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 5 pendant la durée du contrat.

Missions ciblées

Ce développement technologique a pour principal objectif de proposer une solution de localisation relative autonome, modulaire et peu énergivore. Cette solution peut facilement compléter des missions internationales ou être intégrée à celles-ci afin d'améliorer la précision de la localisation.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici s'ajoutent à ceux de la section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'ANNEXE A.

N° de CDRL	Produit à livrer	Date de livraison	Version	Catégorie d'approbation	N° DID
1.	Présentation à la RL	J1 – 1 semaine	Finale	R	Format de l'entrepreneur
2.	Présentation à la réunion de revue de jalon/d'avancement des travaux	Réunion – 1 semaine	Finale	R	Format de l'entrepreneur
3.	Dossier de données de revue	SRR – 2 semaines DDR – 2 semaines TRR – 2 semaines FAR – 2 semaines	Finale Finale Finale Finale	A	DID-0009
4.	Ordre du jour de la réunion	Réunions – 2 semaines	Finale	R	DID-0006
5.	Procès-verbal des réunions	Réunion + 1 semaine	Finale	R	DID-0007
6.	Registre des mesures de suivi	Réunions + 1 semaine	Finale	R	DID-0008
7.	Rapport de divulgation de BIP et de FIP	FAR – 2 semaines	Finale	A	APPENDICE A-3, de l'ANNEXE A
8.	EIVCN	FAR – 2 semaines	Finale	A	DID-0010
9.	Dossier de données sur le produit logiciel fini (EIDP logiciel)	FAR – 2 semaines	Finale	A	DID-0011
10.	Spécifications du système	SRR – 2 semaines DDR – 2 semaines FAR – 2 semaines	VI Mise à jour Finale	A	Format de l'entrepreneur
11.	Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	SRR – 2 semaines DDR – 2 semaines FAR – 2 semaines	VI Mise à jour Finale	A	DID-0217
12.	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	SRR – 2 semaines DDR – 2 semaines FAR – 2 semaines	VI Mise à jour Finale	A	DID-0218
13.	Modèles techniques et analyses	SRR – 2 semaines DDR – 2 semaines FAR – 2 semaines	VI Mise à jour Finale	A	DID-0236
14.	Document de conception	DDR – 2 semaines FAR – 2 semaines	VI Finale	A	DID-0260

N° de CDRL	Produit à livrer	Date de livraison	Version	Catégorie d'approbation	N° DID
15.	Plan de vérification	DDR– 2 semaines FAR – 2 semaines	VI Finale	A	DID-0262
16.	Procédure d'essai	DDR – 2 semaines TRR – 2 semaines FAR - 2 semaines	Ébauche VI Mise à jour	A	DID-0280
17.	Rapport d'essai	Fin des essais + 1 semaine FAR -2 semaines	VI Finale	A	DID-0285
18.	Rapports d'étape mensuels	Le 7 de chaque mois	Finale		Section A.7.1.1
19.	Rapport administratif	M5 (FAR) - 2 semaines	Finale		Section A.7.1.3

Tableau 4 : Produits à livrer

Calendrier et jalons

Ce développement technologique durera jusqu'à 16 mois.

Tableau 5 – Calendrier et jalons

Jalons	Description	Début	Fin
J1 - KOM	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 2 semaines
J2 - SRR	Sondage sur les algorithmes, recommandations et revue des exigences système (SRR)	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 3 mois
J3 - DDR	Revue de conception détaillée (DDR)	FIN J2	FIN J2 plus 5 mois
J4 - TRR	Revue d'aptitude à l'essai (TRR) de l'EVO	FIN J3	FIN J3 plus 5 mois
J5 - FAR	Revue de livraison finale (FAR)	Attribution du contrat 16 mois	Attribution du contrat plus 16 mois

Technologie Prioritaire 2 (TP 2)

**Spectromètre imageur léger et
haute performance pour
mesurer la couleur des eaux**

Spectromètre imageur léger et haute performance pour mesurer la couleur des eaux

1. Liste des acronymes

DA	Document applicable
ASC	Agence spatiale canadienne
ETC	Éléments technologiques critiques
MRC	Mission de référence conceptuelle
NASA	National Aeronautics & Space Administration
DR	Document de référence
DP	Demande de propositions
ET	Énoncé des travaux
PDTS	Programme de développement des technologies spatiales
NPT	Niveau de préparation de la technologie
FRT	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes
MCV	Matrice de conformité de vérification

2. Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents de l'ASC énumérés ci-dessous peuvent être téléchargés à partir du site FTP suivant :

- <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (TRRA)	E	29 juillet 2013
SE-AD-3	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
SE-AD-4	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC)	A	11 mars 2014

3. Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1	Guide PMBOK	Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®, ou guide du référentiel des connaissances en gestion de projet)	4 ^e éd.	2008
SE-RD-2	CTCU TEC- SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices (Méthodes et pratiques de systématique de l'ASC)	Rév. B	10 mars 2010
SE-RD-5	MIL-STD-810 F	Environmental engineering considerations and laboratory tests http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL_STD_810F_949/	Rev F	Jan 2000
SE-RD-6	RTCA DO-160E	Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment http://www.rtca.org/	Rev E	Dec 2004

On peut obtenir le document SE-RD-2 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

SE-RD-3 et SE-RD-4 peuvent être obtenus sur le site FTP suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

4. Description de la technologie

Le Canada possède de longs littoraux et des plans d'eau intérieurs très précieux pour l'approvisionnement alimentaire, le commerce, les transports et le tourisme/les loisirs. Cependant, ils sont de plus en plus menacés directement par l'activité humaine et ils connaissent des changements sans précédent causés par des changements à notre climat. Il est essentiel de comprendre et de quantifier les processus physiques, biogéochimiques et écologiques qui se produisent dans nos eaux naturelles pour assurer la gestion des ressources régionales en eau, que ce soit pour la protection et la surveillance de la qualité de l'eau, les habitats littoraux/en terres

humides, les pêches et l'aquaculture, la santé publique, la navigation et le trafic maritime, la sécurité, l'intervention en cas de déversements d'hydrocarbures/de cas de pollution ou les conséquences d'événements épisodiques d'inondation et de tempêtes.

Les environnements littoraux du Canada (qu'il s'agisse de plans d'eau intérieurs ou des zones côtières) sont des lieux complexes, tant du point de vue optique qu'hydrologique, avec des matières dissoutes et en suspension qui nuisent à la transparence de l'eau, des efflorescences de phytoplancton qui contiennent tout un éventail de pigments et de toxines potentielles, ainsi que des types de bathymétrie et de fonds variables. Non seulement ces environnements peuvent-ils varier considérablement en l'espace de quelques dizaines de mètres, mais ils peuvent aussi être très dynamiques du point de vue temporel en raison de charges régionales et de processus liés aux marées ou aux conditions météorologiques.

Historiquement, les missions satellites ont porté sur des observations des océans du monde à résolution spatiale grossière (p. ex. les missions SeaWiFS et MODIS) ou sur des observations terrestres à haute résolution spatiale avec des réobservations peu fréquentes (p. ex. les missions LANDSAT). Il en résulte que les utilisateurs d'applications satellitaires pour les littoraux et les plans d'eau intérieurs ont souvent dû se contenter d'observations moins qu'optimales. Afin de répondre aux besoins des utilisateurs canadiens en données à haute résolution spatiale et spectrale pour appuyer une surveillance accrue de notre environnement côtier et de nos ressources en eau douce, l'Agence spatiale canadienne a attribué un contrat à l'industrie canadienne pour étudier le concept d'une mission de microsatellite hyperspectral proto-opérationnel destiné à la surveillance des littoraux et des plans d'eau intérieurs baptisé WaterSat.

Grâce à une résolution spatiale modérée (~100 m) et à des réobservations fréquentes (~3 jours ou moins), on prévoit que WaterSat fournira des observations à l'appui de la cartographie opérationnelle, de la surveillance et d'activités scientifiques en science aquatique pertinentes pour la gestion de l'environnement et des ressources en eau.

Plus précisément, WaterSat vise à :

1. fournir des évaluations de la productivité des écosystèmes des côtes et des plans d'eau intérieurs;
2. fournir des capacités de surveillance sur la qualité des eaux régionales et la prolifération d'algues nuisibles;
3. assurer la surveillance des pratiques des pêches/de l'aquaculture et à en surveiller l'impact;
4. surveiller les panaches fluviaux, l'érosion et les fortes tempêtes;
5. permettre la cartographie des côtes et la bathymétrie des plages, des terres humides et des habitats benthiques;
6. surveiller les rejets, les effluents, les déversements d'hydrocarbures et les cas de pollution, y compris ceux découlant de pratiques d'exploitation des ressources.

Étant donné qu'un spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux n'a jamais été développé au Canada, il y a beaucoup d'inconnus et d'incertitudes, comme le détecteur CCD, la conception optique, le S/B réalisable pour une scène d'eau ayant une albédo faible, la distorsion spectrale et spatiale, la masse et le volume réels, etc. Ce projet du PDTs aidera à éliminer les inconnus technologiques inacceptables et à rendre possible la mission WaterSat en rehaussant le NMT de la technologie pertinente au niveau 5 ou plus [SE-AD-1].

Non seulement ce développement technologique rendra-t-il possible la mission WaterSat, mais il facilitera aussi l'estimation des coûts et de l'échéancier. On s'attend à ce que l'imageur hyperspectral de mesure de la couleur des eaux qu'il faut créer puisse réduire considérablement les coûts de la charge utile, grâce à sa faible masse, à son petit volume, à l'utilisation de lentilles plus minces pour l'athermalisation, à une plus grande longueur focale arrière pour permettre une fente facile et à l'intégration et à l'alignement de la FPA.

5. Portée des travaux

Ce contrat de PDTs vise la construction d'une maquette fonctionnelle élaborée d'un imageur hyperspectral de mesure de la couleur des eaux léger et performant. Une maquette fonctionnelle élaborée désigne un équipement qui se situe entre une maquette fonctionnelle et un modèle technique. Elle est construite à partir de composants de qualité commerciale et sa configuration est proche de celle du modèle de vol.

Plus précisément, la portée de ce contrat vise la conception, la construction et la mise à l'essai en laboratoire d'une maquette fonctionnelle d'un spectromètre imageur de Dyson (ou de Dyson modifié), y compris les optiques d'entrée, le spectromètre, la matrice de détection, les circuits électroniques de lecture, le contrôleur, les logiciels d'exploitation et l'interface graphique. Ce spectromètre d'imagerie de la couleur de l'eau devra comporter un capteur imageur hyperspectral à balayage transversal fonctionnant dans le domaine spectral solaire réflectif (de 360 à 1000 nm). Le spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux sera déployé à bord d'un satellite en orbite basse terrestre, soit à environ 700 km d'altitude.

La maquette fonctionnelle du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux ainsi créé devrait être prêt à être mis à l'essai sur le terrain à bord du genre d'aéronef que l'on utilise couramment pour la photographie aérienne afin d'en examiner la performance et toutes les fonctionnalités. Elle sera installée sur le plancher de l'aéronef au moyen d'un châssis anti-vibrations et braquée sur une ouverture aménagée dans le plancher (visée vers le nadir). Une autre option consiste à installer la maquette fonctionnelle dans un berceau gyrostabilisé. Le berceau et l'essai en aéronef du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux ne fait pas partie de la portée du contrat du PDTs actuel et ils pourraient faire l'objet d'un contrat distinct.

6. Exigences

6.1 Spectromètre imageur (SY)

[SY-001] Gamme spectrale

La gamme spectrale du spectromètre imageur doit être de 380 à 970 nm. La gamme visée est de 360 à 1000 nm.

[SY-002] Intervalle d'échantillonnage spectral

L'intervalle d'échantillonnage spectral (SSI) doit être égal ou inférieur à 5 nm. Un intervalle d'échantillonnage spectral plus étroit est souhaitable puisque cela faciliterait le regroupement des pixels (« binning ») qui permet d'augmenter le rapport signal sur bruit (S/B) général.

[SY-003] Résolution spectrale

La largeur totale à mi-hauteur (LTMH) de la réponse spectrale de l'appareil braqué sur une source monochromatique devra être inférieure à 10 nm pour tous les échantillons.

[SY-004] Distance d'échantillonnage au sol

La distance d'échantillonnage au sol (DES) dans l'axe transversal et longitudinal doit être de 100 m ou mieux lorsque le spectromètre imageur est en orbite basse terrestre à une altitude de 700 km.

[SY-005] Résolution spatiale

La résolution spatiale transversale et longitudinale ou champ de vue instantané (iFOV) sera inférieure ou égale à 1,2 fois la DES à la largeur totale à mi-hauteur.

[SY-006] Champ de vue

Le spectromètre imageur doit avoir un champ de vue (FOV) égal ou supérieur à 12 degrés pour couvrir une fauchée au sol de 150 km lorsque le modèle de vol sera déployé à bord d'un microsatellite à une altitude de 700 km. On doit viser un FOV égal ou supérieur à 22,2 degrés pour couvrir une fauchée complète au sol de 300 km lorsque le modèle de vol sera déployé à bord d'un microsatellite à une altitude de 700 km.

[SY-007] Largeur de la fauchée

La fauchée au sol de la maquette fonctionnelle du spectromètre imageur doit être d'au moins 150 km lorsque le modèle de vol sera déployé à bord d'un microsatellite à une altitude de 700 km. En d'autres termes, il doit y avoir au moins 1500 pixels utilisables le long de la fauchée lorsque la DES est de 100 m.

[SY-008] Rapport signal sur bruit (maximum)

Le S/B maximum du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux doit être égal ou supérieur à 350:1 avec un albédo de 5 %, un échantillonnage spectral de 10 nm et une DES de 100 m en orbite à 700 km d'altitude.

(Une DES de 100 m correspond à un temps d'intégration d'environ 14 ms lorsqu'un microsatellite est en orbite héliosynchrone à 700 km d'altitude.)

La maquette fonctionnelle du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux doit être construite en vue d'une mise à l'essai en vol à bord d'un aéronef. Dans le cadre de ces essais, l'altitude de l'avion sera bien inférieure à 700 km et la DES correspondante sera donc inférieure à 100 m. Cependant, le S/B de la maquette fonctionnelle dans le scénario d'essai en vol doit correspondre à celui du scénario à bord d'un microsatellite.

[SY-009] Rapport signal sur bruit (minimum)

Le S/B minimum du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux doit être égal ou supérieur à 100:1 avec un albédo de 5 %, une DES de 100 m et un échantillonnage spectral de 10 nm en orbite à une altitude de 700 km.

[SY-010] Fonction de transfert de modulation (FTM)

La FTM totale (incluant le détecteur) devra être supérieure à 0,3 à la fréquence de Nyquist et la conception optique devra minimiser la variation de FTM pour toutes les bandes spectrales et la dimension spatiale.

[SY-011] Distorsion spectrale

La distorsion spectrale (effet smile) du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux doit être inférieure à 0,2 pixel ou $0,2 \times$ l'intervalle d'échantillonnage spectral (SSI).

[SY-012] Distorsion spatiale

La distorsion spatiale (effet keystone) du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux doit être inférieure à 0,2 pixel ou $0,2 \times$ la distance d'échantillonnage au sol (DES).

[SY-013] Gamme dynamique

La gamme dynamique du spectromètre imageur doit être telle que l'instrument n'est pas saturé lorsqu'il saisit l'image d'une scène brillante (p. ex. de la neige, en supposant un albédo de 100 %) et il ne devrait pas être saturé en présence de reflets solaires.

[SY-014] Numérisation

Les données doivent être numérisées sur au moins 14 bits.

[SY-015] Sensibilité à la polarisation

La sensibilité à la polarisation de l'imageur doit être inférieure à 5 %.

[SY-016] Préférence accordée à la conception de Dyson

Le spectromètre imageur de Dyson (ou de Dyson modifié) doit être choisi, conçu et construit de façon à avoir un contrôle supérieur de la lumière parasite pour donner un meilleur S/B, des lentilles plus minces pour une masse réduite et l'athermalisation, une plus grande longueur focale arrière pour permettre une fente facile et l'intégration et l'alignement de la FPA.

[SY-017] Contrôleur, logiciels et interface graphique

Le spectromètre d'imagerie devra être livré accompagné du matériel et du logiciel permettant l'acquisition des données (voir les exigences concernant les paramètres d'acquisition par le détecteur, ci-dessous [SY-024]) (p. ex. ordinateur et carte d'acquisition d'image) afin de numériser, enregistrer et afficher les images spectrales acquises par le système d'imagerie au moyen d'une interface graphique. Le débit de données de l'équipement d'enregistrement devra être compatible avec le débit de données de sortie du système d'imagerie. La capacité d'enregistrement des données devra permettre de stocker les données recueillies au cours d'une sortie typique de saisie de données à bord d'un aéronef (jusqu'à 2 heures).

[SY-018] Structure et éléments mécaniques

La maquette fonctionnelle du spectromètre imageur doit être dotée des éléments opto-mécaniques et thermiques, ainsi que des structures nécessaires pour autoriser les fonctions mécaniques, thermiques et structurelles requises d'un système qui soit portable en vue des essais aériens.

[SY-019] Durcissement pour essais aéroportés

Renforcer la maquette de spectromètre d'imagerie de façon à ce que le système satisfasse aux exigences de résistance aux vibrations et aux chocs pour le transport à bord des aéronefs (y compris ceux à turbopropulseurs), telles que spécifiées dans la norme MIL-STD-810 F (SE-RD5) (méthodes 514,5 et 516,5) ou RTCA DO-160E (SE-RD6) (section 7, tableau 7-1 et section 8, tableau 8-1).

[SY-020] Masse

La masse du spectromètre imageur, y compris les éléments optiques d'entrée, le spectromètre et le contrôleur électronique, doit être inférieure à 10 kg.

[SY-021] Volume

Le volume du spectromètre imageur, y compris les éléments optiques d'entrée, le spectromètre et le contrôleur électronique, doit être inférieur à 0,06 m³.

[SY-022] Consommation d'électricité

La consommation d'électricité du spectromètre imageur doit être inférieure à 70 W.

[SY-023] Caractérisation en laboratoire

La maquette fonctionnelle du spectromètre imageur doit être caractérisée en laboratoire. Cette caractérisation en laboratoire doit inclure :

1. la préparation du plan et des procédures d'essai;
2. l'évaluation du S/B (max. et min.);
3. l'évaluation de la FTM;
4. l'évaluation de la résolution spatiale;
5. l'évaluation de la résolution spectrale;
6. l'évaluation de l'effet smile;
7. l'évaluation de l'effet keystone;
8. l'évaluation de la gamme dynamique;
9. l'évaluation de la sensibilité à la polarisation;
10. la préparation du rapport d'essai.

[SY-024] Étalonnage en laboratoire

La maquette fonctionnelle du spectromètre imageur doit être étalonnée en laboratoire de façon à produire les paramètres d'étalonnage de l'imageur en vue de la production d'images en unités de radiance au capteur en fonction de la longueur d'onde, y compris les logiciels d'étalonnage radiométrique et géométrique. Cet étalonnage en laboratoire doit comprendre :

1. le gain;
2. le décalage;
3. le courant d'obscurité;
4. la non-uniformité;
5. les bandes;
6. l'étalonnage spectral;
7. l'intégration de ces paramètres dans le logiciel d'acquisition (voir [SY-017]).

6.2 Optiques d'entrée

[FO-001] Optiques d'entrée pour microsatellite

Les optiques d'entrée du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux qui sera déployé dans un microsatellite à une altitude de 700 km doivent être conçues et vérifiées afin de s'assurer que toutes les exigences liées à l'imageur ([SY-001 à SY-24]) seront respectées.

[FO-002] Optiques d'entrée pour les essais aériens

Les optiques d'entrée du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux qui sera mis à l'essai à bord d'un aéronef à une altitude typique (p. ex. 3500 m) doivent être conçus, construits et assemblés avec le spectromètre de façon à constituer le spectromètre imageur aéroporté de mesure de la couleur des eaux.

6.3 Matrice de détection

[DA-001] Gamme spectrale

Le seuil de transmission doit être < 380 nm à 25 % du QE.

La longueur d'onde de coupure doit être > 970 nm à 25 % du QE.

[DA-002] Zone d'imagerie

La zone d'imagerie doit être supérieure à 256×1500 pixels.

[DA-003] Fréquence de trame

La fréquence de trame doit être supérieure à 70 Hz.

[DA-004] Mode d'imagerie

Un mode cliché est exigé.

[DA-005] Capacité totale

La capacité totale doit être supérieure à 1 000 000 e après la sommation analogique du registre de transport horizontal (HTR)

[DA-006] Plancher de bruit

Le plancher de bruit à la fréquence de trame maximale doit être inférieur à 100 e.

[DA-007] Rendement quantique

Le rendement quantique (QE) doit être supérieur à 70 % au maximum.

[DA-008] Non-uniformité de la réponse photoélectronique

La non-uniformité de la réponse photoélectronique doit être inférieure à 10 %.

[DA-009] Non-uniformité du bruit noir

La non-uniformité du bruit doit être inférieure à 10 %.

[DA-010] Non-linéarité

La non-linéarité doit être inférieure à 5 %.

[DA-011] FTM

La FTM de la matrice de détection doit être supérieure à 50 % à la fréquence de Nyquist.

[DA-012] Température de fonctionnement

Le système doit fonctionner à la température de la pièce (20 °C).

[DA-013] Acquisition des données et circuits électroniques

Le détecteur doit inclure :

- des blocs d'alimentation et des circuits électroniques pour le conditionnement du signal
- une carte d'acquisition des images, une carte d'acquisition des données et un ordinateur pour l'échantillonnage et l'enregistrement des données à la fréquence de trames spécifiée (avec une résolution supérieure ou égale à 14 bits)

7. Vérification

Le Tableau 1 présente les méthodes de vérification qui doivent être utilisées pour vérifier les exigences contenues dans le présent ET. Toutes les exigences doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

- 1) Analyse (y compris les simulations);
- 2) Examen de la conception;
- 3) Démonstration;
- 4) Inspection;
- 5) Mise à l'essai.

Ces méthodes sont décrites ci-après.

1) Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). L'analyse devrait être fondée sur les données d'essai, dans la mesure du possible. L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou d'elle-même comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) seront sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire servira à prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle définira les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

2) Examen de la conception

Un examen de la conception sera utilisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

3) *Démonstration*

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Ce type de vérification est utilisé pour les exigences « oui/non » que l'on peut vérifier avec une certaine forme de mesure; c'est-à-dire pour démontrer que l'équipement accomplit la fonction exigée.

4) *Inspection*

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

5) *Mise à l'essai*

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre va décliner au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Tableau 1 : Méthodes de vérification

Besoin	Nom	Méthode	Remarque :
A : Analyse, RC : Revue de la conception, D : Démonstration, I : Inspection, E : Essai			
[SY-001]	Gamme spectrale	RC, E	
[SY-002]	Intervalle d'échantillonnage spectral	RC, E	
[SY-003]	Résolution spectrale	RC, E	
[SY-004]	Distance d'échantillonnage au sol	RC, E	
[SY-005]	Résolution spatiale	RC, E	
[SY-006]	Champ de vision	RC, E	
[SY-007]	Largeur de fauchée	RC, E	
[SY-008]	Rapport signal sur bruit (maximum)	RC, E	
[SY-009]	Rapport signal sur bruit (minimum)	RC, E	
[SY-010]	Fonction de transfert de modulation	RC, E	
[SY-011]	Distorsion spectrale (effet	RC, E	

Besoin	Nom	Méthode	Remarque :
A : Analyse, RC : Revue de la conception, D : Démonstration, I : Inspection, E : Essai			
	smile)		
[SY-012]	Distorsion spatiale (effet keystone)	RC, E	
[SY-013]	Gamme dynamique	RC, E	
[SY-014]	Numérisation	RC	
[SY-015]	Sensibilité à la polarisation	RC, E	
[SY-016]	Préférence accordée à la conception de Dyson	D	
[SY-017]	Contrôleur, logiciels et interface graphique	I, D	
[SY-018]	Structure et éléments mécaniques	A, RC	
[SY-019]	Durcissement pour les essais aériens	RC, D	
[SY-020]	Masse	RC, I	
[SY-021]	Volume	RC, I	
[SY-022]	Consommation d'électricité	RC, T	
[SY-023]	Caractérisation en laboratoire	E, I, D	
[SY-024]	Étalonnage en laboratoire	E, I, D	
[FO-001]	Optiques d'entrée pour le microsatellite	RC, A	
[FO-002]	Optiques d'entrée pour les essais aériens	RC, E, D	
[DA-001]	Gamme spectrale	I ou E	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-002]	Imaging area	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-003]	Image/sec	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-004]	Imaging mode	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-005]	Capacité totale	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-006]	Plancher de bruit	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-007]	Rendement quantique	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du

Besoin	Nom	Méthode	Remarque :
A : Analyse, RC : Revue de la conception, D : Démonstration, I : Inspection, E : Essai			
			fournisseur
[DA-008]	Non-uniformité de la réponse photoélectronique	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-009]	Non-uniformité du bruit noir	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-010]	Non-linéarité	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-011]	FTM	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-012]	Température de fonctionnement	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur
[DA-013]	Acquisition de données et circuits électroniques	I	Essai ou inspection du rapport d'essai du fournisseur

8. Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 5 pendant la durée du contrat. La maquette fonctionnelle du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux sera mise à l'essai à bord d'un aéronef.

9. Missions visées

Le spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux doit servir dans le cadre d'une mission de microsatellite prévue de l'ASC dont le lancement est prévu pour 2020 (à confirmer).

10. Échéancier et jalons

Ce développement technologique durera jusqu'à 18 mois.

Tableau 2 – Échéancier et jalons

Jalons	Description	Début	Achèvement
RL	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat + 2 semaines
Jalon 1	Revue de définition préliminaire (PDR)	Fin de la RL	Attribution du contrat + 3 mois
Jalon 2	Revue de conception détaillée (DDR)	Fin de M1	Attribution du contrat + 6 mois
Jalon 3	Intégration et assemblage (IA)	Fin de M2	Attribution du contrat + 12 mois
Jalon 4	Caractérisation et mise à	Fin de M3	Attribution du

	l'essai en laboratoire		contrat + 15 mois
Jalon 5	Réunion de revue finale	Fin de M4	Adjudication du contrat + 18 mois

11. Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

Tableau 3 – Produits à livrer

N°	Jalon	Produit à livrer	Échéancier sur la livraison des produits
D1		1. Plan d'achat et spécifications 1.1 Détecteur pour la gamme visible-proche IR 1.2 Bloc de Dyson (ou de Dyson modifié) 1.3 Grille 1.4 Optiques d'entrée	L'échéancier concernant ces produits à livrer et autres produits contractuels devrait être précisé dans la soumission et adopté à la réunion de lancement.
D2		Plan de mise en œuvre du contrat	
D3		Document sur les exigences	
D4		Documents de contrôle d'interface	
D5		Dessin montrant l'installation possible dans un aéronef. Ces renseignements sont essentiels pour permettre l'installation de l'imageur dans l'aéronef sélectionné. Doit être inclus dans le guide de l'utilisateur.	
D6		Plan et méthodes d'essai	
D7		Rapport d'essai	
D8		Maquette fonctionnelle du spectromètre imageur de mesure de la couleur des eaux portative qui convient aux essais aériens et matériel connexe (le cas échéant)	Réunion de revue finale
D9		Logiciels	2 semaines avant la réunion prévue
D10		Guide de l'utilisateur	2 semaines avant la réunion prévue
D11		Équipement (acheté aux termes du contrat)	2 semaines avant la réunion prévue
D12		Feuille de travail sur la feuille de route technologique	2 semaines avant la réunion prévue

Technologie Prioritaire 3 (TP 3)

**Enceinte composite pour
utilisation à température
cryogénique**

Enceinte composite pour utilisation à température cryogénique

Liste des sigles et acronymes

ASC	Agence spatiale canadienne
NMT	Niveau de maturité technologique
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes

Documents applicables

Cette section énonce les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents présentés ci-dessous peuvent être obtenu des sites FTP (protocole de transfert de fichiers) suivants : SE-AD-1, SE- AD-2, SE- AD-3 et SE-AD-4 depuis <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>; SE-AD-5 depuis <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>;

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC)	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	Septembre 2012

Documents de référence

Cette section présente des documents qui contiennent des renseignements additionnels susceptibles d'être utiles pour le soumissionnaire mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Project Management Institute, Incorporated	4 ^e édition	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices [Méthodes et pratiques de systémique de l'ASC]	Rév. B	10 mars 2010

Le document SE-RD-2 peut être obtenu du site FTP (protocole de transfert de fichiers) suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

Les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 peuvent être obtenus du site FTP suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

L'utilisation de composites peut conférer plusieurs avantages pour l'exploration de la Lune. Par exemple, les matériaux composites ont une masse moindre et les panneaux composites alvéolés constituent un excellent isolant thermique dans le vide de l'espace. Les composites pourraient d'ailleurs permettre la conception de missions pour lesquelles la gestion thermique constituait un défi de taille jusqu'à maintenant. Toutefois, les adhésifs utilisés pour joindre les éléments composites tendent à se fissurer au fil des cycles thermiques. Pour ce projet, des échantillons de panneaux avec des alvéoles en Nomex et des semelles IM7/977-2 seront fabriqués puis collés au moyen d'un adhésif approprié et de mises rapportées. Les échantillons seront soumis à cycles thermiques allant de -170 °C à 130 °C. Une inspection visuelle et des essais de traction appropriés seront réalisés afin d'évaluer la résistance des liens. Ce développement technologique prévoit la livraison d'une enceinte en composite fabriquée au moyen de mises rapportées et d'adhésifs appropriés en vue de missions lunaires.

Portée des travaux

La portée du travail décrite ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A.

La base de l'enceinte devra mesurer 20 cm sur 20 cm et avoir une hauteur de 10 cm. Selon le concept retenu par l'entrepreneur, les quatre côtés de l'enceinte et la plaque de base devront être liés au moyen de pièces rapportées. Le concept devra être approuvé par l'ASC au jalon M2, tel que défini au tableau 1.

Un couvercle, non fixé et séparé de l'enceinte, doit être fourni. Ce dernier devra mesurer 20 cm sur 20 cm. Un motif carré de quatre mises rapportées doit se trouver au centre du couvercle, les mises rapportées formant un carré de 15 cm sur 15 cm.

Les panneaux en nid d'abeille formant l'enceinte sont fabriqués de feuilles IM7/977-2 [45/0/0/45] tissées. Le cœur en nid d'abeille est fabriqué de Nomex perforé de 0,5 po d'épaisseur. La densité est laissée au choix de l'entrepreneur. La masse doit être réduite le plus possible, mais les échantillons doivent subir avec succès les essais de cisaillement et de traction décrits ci-dessous. Des noyaux de densité variable sont autorisés.

Le choix des mises, de l'adhésif qui servira à coller les mises et de l'adhésif qui sera appliqué entre les semelles et le noyau est laissé à la discrétion de l'entrepreneur. Toutefois, les échantillons doivent subir avec succès les essais de cisaillement et de traction décrits ci-dessous. Le choix du matériau doit

reposer sur les lignes directrices de la NASA en la matière, soit un matériau qui présente une perte de masse totale (PMT) inférieure à 1,0 % et une valeur de matière volatile condensable recueillie inférieure à 0,1 %, lorsqu'il est soumis à une pression de $1,3 \times 10^{-4}$ Pa et à une température de 125 ± 1 °C, pendant une période de 24 heures, conformément aux indications de la norme ASTM E595.

Les matériaux doivent également être qualifiés pour une utilisation à basse température et il doit y avoir des données probantes montrant que les matériaux résisteront à des températures cryogéniques. Le choix des matériaux doit être soumis à l'ASC à des fins d'approbation lors du jalon M2, tel que défini au tableau 1.

L'entrepreneur mettra à l'essai les coupons afin de vérifier que les matériaux choisis possèdent les bonnes propriétés et que les processus de fabrication sont adéquats. Les coupons d'essai ont la même configuration que les panneaux en nid d'abeille qui constitueront l'enceinte, c'est-à-dire, des semelles de IM7/977-2 [45/0/0/45] tissées et un cœur fabriqué de Nomex perforé de 0,5 po d'épaisseur. Ceux-ci doivent être préparés en utilisant les mêmes matériaux, les mêmes techniques de préparation de la surface et les mêmes techniques d'application que ceux qui seront employés pour les panneaux de l'enceinte et ce, afin de garantir que les résultats des mises à l'essai des coupons sont représentatifs du comportement prévu de l'enceinte.

Cyclage thermique préalable aux essais

Définition de la mise à l'essai

La plage de températures d'utilisation des coupons doit être de -170 °C à 130 °C. Tous les coupons d'essai doivent être assujettis à un cyclage thermique (c.-à-d., les coupons en cours de traitement et les coupons de mises rapportées) avant leur mise à l'essai, conformément à la séquence et aux spécifications suivantes :

- Nombre de cycles entre les valeurs extrêmes des températures d'utilisation : 20
- Tolérance sur les plateaux :
 - Intervalle des températures basses : -10 °C, +0 °C
 - Intervalle des températures élevées : -0 °C, +5 °C
- Le cyclage thermique doit commencer avec le plateau de températures élevées.
- Durée minimale d'un plateau : 60 minutes.
- Taux de variation maximal : 10 °C/min.
- Thermocouples :
 - Au moins deux (2) thermocouples doivent être fixés aux coupons de chaque type afin de surveiller et d'enregistrer la température des coupons au cours du cyclage thermique.
 - Chaque thermocouple doit avoir la capacité adéquate requise pour les valeurs extrêmes de température et les valeurs de tolérance spécifiées.
- Les traitements de cyclage thermique doivent être exécutés sous pression ambiante (celle des installations) et dans des conditions sèches (l'humidité relative doit être inférieure à 10 %).

Le fournisseur doit réaliser l'inspection des coupons d'essai afin de déterminer si elles ont subi des dommages, une détérioration ou une altération, et il doit communiquer ces résultats à l'ASC.

L'installation des thermocouples sur les coupons d'essai ne doit en aucun cas les endommager. Un résumé de cyclage thermique doit être inclus dans le rapport d'essai final. Ce résumé devra comprendre,

au minimum, la lecture de la température la plus élevée et la lecture de la température la plus basse de chacun des cycles. Le résumé en question doit comprendre des résultats de cyclage thermique pour tous les coupons d'essai.

Coupons en cours de fabrication

Les propriétés clés des matériaux doivent être vérifiées au moyen d'essais en cours de fabrication, et ce, pour chaque procédé de collage et de durcissement distinct et chaque méthode d'assemblage, conformément aux éléments suivants :

- Au moins trois (3) coupons de 4 po sur 4 po devront subir un traitement identique et être soumis simultanément à des essais d'adhésion entre les semelles et le noyau.

Élément	Description	Spécification	Nombre de coupons	Exigence/objectif
Liage, adhésif en film appliqué au noyau	Cisaillement simple	ASTM-D1002	3	>2500 psi (exigence)

Coupons de mises rapportées

Des données permettant de tracer des courbes charge-déformation doivent être mesurées et enregistrées afin de pouvoir évaluer des valeurs équivalentes de limite de résistance et de charge de rupture. Avant leur mise à l'essai, les coupons devront subir un cycle thermique tel que susmentionné.

Au moins trois (3) coupons de mises rapportées de 4 po sur 4 po devront subir un traitement identique en simultanée.

Configuration

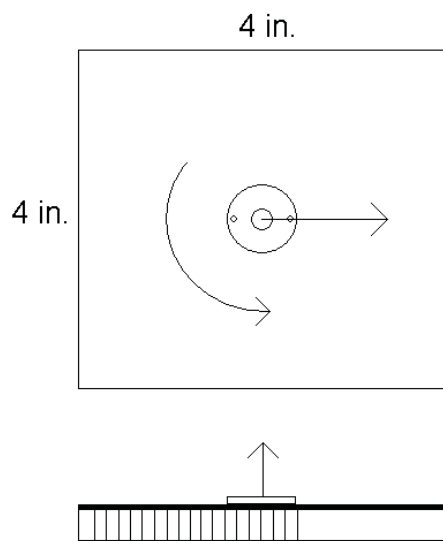


Figure 1- Mises rapportées de panneau - Configuration des coupons d'essai

Définition de l'essai

Essai	Nombre de coupons	Valeur admissible
Traction	3	200 lb
Cisaillement	3	450 lb
Torsion	3	35 lb-po

Rapport sur la mise à l'essai des éprouvettes

Le fournisseur doit soumettre un rapport sur la mise à l'essai de tous les coupons susmentionnés. Le rapport final sur les essais doit être soumis pour approbation par l'ASC, une fois tous les essais exécutés.

Le rapport comprend les éléments suivants :

- a) La procédure d'essai
- b) Le résumé des données d'essai
- c) La description des modes de défaillance
- d) La description de l'environnement d'essai
- e) Les résultats des inspections et des essais en cours de fabrication réalisés.

Mise à l'essai de l'enceinte composite

L'enceinte en matériaux composites devra subir un cyclage thermique.

Les traitements de cyclage thermique doivent être réalisés conformément à la séquence et aux spécifications suivantes :

- Nombre de cycles entre les valeurs extrêmes des températures d'utilisation : 20
- Tolérance sur les plateaux :
 - Intervalle des températures basses : -10 °C, +0 °C
 - Intervalle des températures élevées : -0 °C, +5 °C
- Le cyclage thermique doit commencer avec le plateau de l'intervalle de températures élevées.
- Durée minimale d'un plateau : 60 minutes.
- Taux de variation maximal : 10 °C/min.
- Thermocouple
 - Au moins deux (2) thermocouples doivent être utilisés pour surveiller la température de chacun des panneaux au cours du cyclage thermique.
 - Chaque thermocouple doit avoir la capacité adéquate requise pour les valeurs extrêmes de température et les valeurs de tolérance spécifiées.
- Les traitements de cyclage thermique doivent être exécutés sous pression ambiante (celle des installations) et dans des conditions sèches (l'humidité relative doit être inférieure à 10 %).

Le fournisseur doit réaliser l'inspection des éprouvettes d'essai afin de déterminer si elles ont subi des dommages, une détérioration ou une altération, et il doit communiquer ces résultats à l'ASC.

L'installation des thermocouples sur les panneaux de vol ne doit en aucun cas les endommager.

Un résumé de cyclage thermique doit être inclus dans le rapport d'essai final. Ce résumé devra comprendre, au minimum, la lecture de la température la plus élevée et la lecture de la température la plus basse de chacun des cycles. Le résumé en question doit comprendre des résultats de cyclage thermique pour tous les coupons d'essai.

L'entrepreneur doit effectuer une évaluation de la maturité technologique (TRA) des technologies clés que l'on prévoit utiliser dans le système proposé, conformément aux Lignes directrices de l'ASC sur les

niveaux de maturité technologique et leur évaluation (SE-AD-1), en utilisant les formulaires fournis par l'ASC : Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC) (SE-AD-4) et la Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) correspondant à chaque CTE, et un tableau-synthèse de l'évaluation de la maturité technologique et des risques réalisé à l'aide de l'Outil de consolidation de données (SE-AD-3). Il doit également décrire les caractéristiques de rendement des technologies du concept en fonction des spécifications indiquées ici.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique, qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La Feuille de route technologique doit être présentée dans le même format que celui de la Feuille de travail sur la feuille de route technologique (SE-AD-5).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Tolérances

- La tolérance relative à l'angle des couches du stratifié doit être de ± 2 degrés
- La tolérance relative à l'angle de l'âme du panneau sandwich doit être de ± 5 degrés
- La tolérance relative à l'épaisseur de l'âme du panneau sandwich doit être de $\pm 0,005$ po
- Planéité : écart maximal de 0,05 po pour toute la section (plaque de base, couvercle, côtés)
- Les semelles et tout autre élément adhérent ne doivent en aucun cas présenter des signes de plissement des fibres ou de décollement des couches.

Le rapport final devra fait état des essais réalisés afin de vérifier les tolérances des coupons et de l'enceinte en matériaux composites.

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 4 pendant la durée du contrat.

Missions visées

L'enceinte en matériaux composites est conçue en vue d'éventuelles missions sur la Lune.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A. L'entrepreneur devra livrer tous les rapports exigés ainsi que l'enceinte en matériaux composites.

- Plan de conception
- Rapport sur la mise à l'essai des éprouvettes
- Enclosure test report
- Rapport technique final

Échéancier (JALONS)

Ce développement technologique durera jusqu'à 24 mois.

Tableau 1 – Calendrier et jalons

Jalons	Description	Début	Achèvement
M1	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat +2 semaines
M2	Plan de conception préliminaire de l'enceinte, incluant la conception des mises rapportées, du choix d'adhésif et de pièces rapportées, et feuilles de données indiquant la PMT, la valeur de matière volatile condensable recueillie et la plage de température de l'application.	Attribution du contrat	Attribution du contrat + 4 mois
M3	Rapport d'essai sur la fabrication et la mise à l'essai des coupons	Attribution du contrat + 4 mois	Attribution du contrat + 16 mois
Examen final	Présentation à la réunion de revue finale Enceinte en matériaux composites Rapport sur la fabrication et la mise à l'essai de l'enceinte en matériaux composites	Attribution du contrat + 16 mois	Attribution du contrat + 24 mois

Technologie Prioritaire 4 (TP 4)

**Système de microcapteur sans
fil pour la surveillance des
données biométriques des
membres de l'équipage**

Système de microcapteur sans fil pour la surveillance des données biométriques des membres de l'équipage

Liste des sigles et acronymes

ASC	Agence spatiale canadienne
DES	Décharge électrostatique
DMS	Système de gestion des données
DSS	Système d'aide à la décision
ECG	Électrocardiographie
EEG	Électroencéphalographie
EMR	Dossier médical électronique
FTP	Protocole de transfert de fichiers
HL7	Norme Health Level 7
FC	Fréquence cardiaque
LEO	Orbite basse terrestre
OAWSS	Capteur sans fil porté par l'astronaute
FR	Fréquence respiratoire
SIU	Unité d'interface capteurs
SPO2	Saturation en oxygène
NMT	Niveau de maturité technologique
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes
WSU	Unité de capteur sans fil
WSS	Trousse de capteur sans fil

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables présentés ci-dessous peuvent être téléchargés à partir du site FTP suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>; SE-AD-5 depuis le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

No AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013

No AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	Le 10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	Septembre 2012

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

No de RD	Numéro du document	Titre du document	No de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®, ou guide du référentiel des connaissances en gestion de projet)	4 ^e édition.	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices [Méthodes et pratiques de systémique de l'ASC]	Rév. B	10 mars 2010
SE-S6-RD-1.	Article de revue	Medical care for a Mars transit mission and extended stay on the martian surface. Doarn C.R. et al. Journal of Cosmology, 2010, Vol 12, 3758-3767. http://journalofcosmology.com/Mars120.html	S.O.	2010
SE-S6-RD-2.	CCSDS 882.0-M-1	Spacecraft Onboard Interface Systems—Low Data-Rate Wireless Communications for Spacecraft Monitoring and Control, Recommended Practice (Magenta Book). http://public.ccsds.org/publications/archive/882x0m1.pdf	Issue 1	Mai 2013
SE-S6-RD-3.	Site Web	Health Level 7 (HL7) International Standards version 3 product suite. http://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=186#ImpGuides	(en caractères d'imprimerie) Version 3	

On peut obtenir le document AD-5 dans le site FTP (protocole de transfert de fichiers) suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

SE-RD-3 et SE-RD-4 peuvent être obtenus sur le site FTP suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

À mesure que les futures missions spatiales habitées amèneront les astronautes à s'aventurer au-delà de l'orbite basse terrestre (LEO), les grandes distances parcourues et la durée prolongée des missions entraîneront :

- 1) une diminution des possibilités de ramener rapidement sur Terre un membre d'équipage malade ou blessé pour qu'il puisse être soigné;
- 2) une augmentation des délais de communication, rendant impossible les interactions en temps réel en télé-médecine dans le cadre de telles missions;
- 3) un accès à des ressources médicales limitées;
- 4) un niveau d'expertise spécialisée en médecine limité de certains membres d'équipage et favoriseront la prestation de soins médicaux par des non-cliniciens.

Ainsi, les futures missions d'exploration nécessiteront le développement de technologies de soutien médical qui offriront aux membres de l'équipage une autonomie médicale accrue (SE-S6-RD-1). Pour assurer l'autonomie médicale, il faudra :

- 1) développer des systèmes de soins médicaux hautement intégrés autorisant la collecte automatisée de données sur la santé (à l'aide d'appareils médicaux et de rencontres patient/médecin) ainsi que des systèmes de gestion des données (stockage, synchronisation, affichage et contrôle);
- 2) développement de solutions pour augmenter les capacités de soutien à la prise de décisions afin de faciliter le diagnostic de troubles médicaux, développer des plans de traitement et mettre en œuvre des procédures médicales;
- 3) améliorer la surveillance médicale des membres de l'équipage.

En 2013, un concept de système médical avancé pour équipages (ACMS) a été élaboré. Ce système est présenté à la figure 1. L'ACMS est un système médical intégré capable de fournir un soutien médical aux astronautes dans le cadre de missions d'exploration spatiale de longue durée. L'ACMS comprendrait un dossier médical électronique (EMR) permettant le stockage de données codées sur la santé recueillies par des appareils médicaux périphériques (par le biais de capteurs) ainsi que celles recueillies par l'officier médical de bord lors des rencontres patient/médecin, au moyen d'une interface utilisateur. Les données sur la santé seraient analysées par un système de soutien à la prise de décisions cliniques (DSS) composé d'un répertoire des connaissances médicales et d'un moteur de décision lui

et le développement d'un plan de traitement dans le cas d'une blessure ou d'une maladie. Les capteurs seraient conçus de façon intégrée, flexible et prêts à l'emploi afin de permettre la cueillette de données physiologiques à différents moments de la mission, au besoin. Le système de capteurs permettrait entre autres le suivi et l'analyse de divers paramètres biométriques tels la fréquence cardiaque (FC), la tension artérielle (TA), la fréquence respiratoire (FR), les volumes respiratoires, la saturation en oxygène (SPO2), la température corporelle, l'électrocardiographie (ECG), l'électroencéphalographie (EEG), l'analyse du stress de la voix et les mouvements corporels. Le concept d'ACMS nécessite également la mise en place de modèles sur l'état de santé des astronautes ainsi que le suivi en continu de ces paramètres physiologiques afin d'évaluer l'état de santé des membres de l'équipage.

Depuis 2012, l'ASC finance activement le développement de l'Astroskin, un système de capteurs prêt-à-porter (insérés dans un chandail et câblés) qui permet le suivi en continu de certains paramètres physiologiques (<http://www.asc-csa.gc.ca/eng/sciences/astroskin.asp>). Un système de capteurs porté par les astronautes dans le cadre de missions d'exploration nécessiterait le développement d'un ensemble intégré et élargi de capteurs doté de capacités sans fil pour un confort accru et qui pourrait être incorporé de façon facile et flexible (« plug and play »). Un tel système devrait également minimiser l'interférence avec les tâches quotidiennes des astronautes, en plus d'avoir une masse, un volume et des exigences énergétiques très faibles. Ces exigences orienteront le développement de capteurs de petites dimensions, sans fil, à technologie nano-électro-mécanique ou photonique, et dotés de capacités avancées et de pointe en ce qui a trait au sous-système de communications et de gestion de l'alimentation.

Cette activité est une initiative de développement et de prototypage technologique d'un système de capteurs sans fil destiné aux astronautes aux fins de missions d'exploration spatiale et représente une opportunité de combinaison de technologies susceptibles de contribuer significativement à la surveillance de la santé des astronautes dans l'espace. Pour les besoins de ce document, ce système de capteur est désigné Système de capteurs sans fil porté par des astronautes (OAWSS pour On-Astronaut Wireless Sensor System).

Portée des travaux

La portée du travail décrite ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A.

Ce développement technologique portera sur le développement et la livraison d'un système de surveillance de paramètres physiologiques exploitant un ensemble de capteurs micro-usinés intégrés (figure 2). La portée de ce développement technologique doit comprendre les tâches suivantes :

- Développement et fabrication des capteurs sans fil;
- Développement d'une unité d'interface avec les capteurs;
- Élaborer un système de gestion des données;
- Intégration, vérification et validation du système.

De plus, l'entrepreneur devra fournir les éléments suivants :

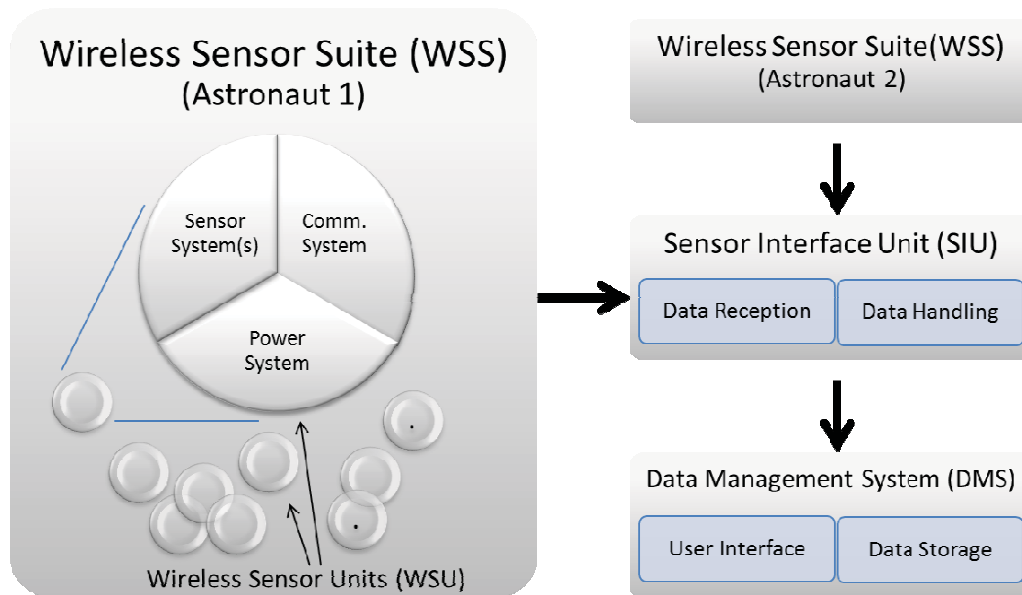
- une évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes (TRRA) pour les technologies clés;
- Feuille de route du développement technologique (TRM), y compris les développements technologiques requis pour satisfaire les besoins de la mission;
- une feuille de route technologique pour l'intégration du système à un EMR.

Le développement et la fabrication d'unités de capteurs sans fil (WSU).

Produire un prototype de chacun des types de WSU et établir sa validité, sa précision et sa tolérabilité:

- i. Élaborer un prototype technique pour chacun des WSU retenus (voir les exigences relatives aux capteurs). Chaque WSU comprendra :
 - a. un capteur physiologique;
 - b. des technologies de communications sans fil permettant aux capteurs corporels biométriques de transmettre les données à l'unité d'interface;
 - c. des technologies de gestion de l'alimentation;
- ii. Effectuer des essais de fonctionnalité afin de démontrer la validité des signaux des capteurs, la transmission des données et la gestion de l'alimentation.
- iii. Démontrer la capacité des WSU à être portés directement sur la peau pendant des périodes prolongées sans réactions cutanées ou limitation du confort ou des mouvements.

Figure 2 : Diagramme conceptuel du système de capteur sans fil pour astronaute



Développement de l'unité d'interface avec le capteur (SIU)

Production d'un prototype de SIU. Cette unité effectuera l'acquisition et l'intégration des données du WSS, ainsi que la surveillance de la santé des WSU. Les données, transmises en format HL7, permettront de mettre à jour le système de gestion des données.

Élaborer un système de gestion des données (DMS).

Produire un prototype de DMS. Le DMS doit recevoir, gérer et stocker les données provenant du SIU. Cette tâche comprendra également le développement de capacités de traitement, de visualisation, d'exportation de données (p. ex., Matlab, Excel, etc.) ainsi que le développement d'une interface de programmation d'applications (API) permettant d'accéder aux données depuis des applications externes.

Intégration et vérification du système

Intégration des composantes de l'OAWSS en une configuration de mission d'exploration :

- i. Produire deux WSS corporels pour astronautes;
- ii. Intégrer les composantes du système : WSS, SIU et DMS;

- iii. Démontrer la fonction d'acquisition et de traitement simultanée de données de un et plusieurs sujets portant le WSS;
- iv. Démontrer la validité des données acquises par les capteurs par rapport aux standards de laboratoire.
- v. Vérifier que le système satisfait aux caractéristiques fonctionnelles et aux exigences de rendement.

Les prototypes techniques qui découleront de cette activité de développement serviront de banc d'essai pour l'étape d'essais opérationnels.

L'entrepreneur doit évaluer la maturité des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système proposé ainsi que les risques connexes, conformément aux exigences indiquées dans les Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation (SE-AD-1) à l'aide des formulaires fournis par l'ASC : Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (SE-AD-4) et Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) correspondant à chaque CTE, et un tableau-synthèse de l'évaluation de la maturité technologique et des risques réalisé à l'aide de l'Outil de consolidation de données (SE-AD-3). Cette TRRA doit décrire les caractéristiques de rendement des technologies du concept en fonction des besoins de la mission et de l'environnement visé.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique, qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route technologique doit également être présentée selon le format du document SE-AD-5 (Feuille de route technologique).

Cette initiative vise le développement d'un prototype intégré fonctionnel d'un système de surveillance biométrique des membres d'équipage basé sur des microcapteurs. Elle vise également l'intégration de ce dispositif dans un EMR ainsi que l'établissement d'une feuille de route prévoyant l'envoi dans l'espace du système de capteurs et tenant compte des phases de projet pertinentes, des coûts et du calendrier de mise en œuvre. On souhaite ainsi à ce que la technologie résultante puisse, dans le futur, être intégrée dans un système de soins médicaux pour équipage semblable à l'ACMS.

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Unités de capteurs sans fil - Exigences liées aux capteurs

OBLIGATOIRE-SEN-01 Type de capteur : Pour cette initiative de développement technologique, l'OAWSS comprendra le développement d'au moins 5 types de WSU. Parmi les capteurs obligatoires, on retrouve les capteurs nécessaires pour l'acquisition de données ECG, la température corporelle et les mouvements du corps. Les deux autres types de capteurs qui devront être intégrés au prototype seront au choix de l'entrepreneur (il pourra choisir à partir de la liste ci-dessous).

Nota : on estime que l'OAWSS sera composé de capteurs permettant de mesurer les paramètres suivants :

- *ECG (pouvant être adapté à 12 lignes) - obligatoire;*
- *Fréquence respiratoire (FR);*
- *Volumes respiratoires;*
- *Température corporelle - obligatoire;*
- *Mouvements du corps - obligatoire;*
- *Saturation en oxygène (SPO2);*
- *Tension artérielle (TA);*
- *EEG;*
- *Microphone (analyse du stress de la voix);*

OBLIGATOIRE-SEN-02 Conception des autres capteurs : Pour chaque type de capteur restant non retenu, il incombe à l'entrepreneur de produire une feuille de route pour leur développement.

OBLIGATOIRE-SEN-03 Concept non invasif : Les WSU devront être non invasifs.

Nota : Les WSU ne devront pas percer la surface de la peau.

OBLIGATOIRE-SEN-04 Taille des capteurs : Les WSU devront avoir une hauteur de 5 mm ou moins.

Nota : Cette exigence vise à réduire le plus possible la hauteur du WSU.

OBLIGATOIRE-SEN-05 Liberté de mouvement : Les WSU doivent pouvoir être portés en tout confort et ne pas nuire au port de vêtements, aux activités quotidiennes, à l'exercice et au sommeil.

OBLIGATOIRE-SEN-06 Fixation des WSU : Les WSU devront être fixés directement sur la peau et demeurer ainsi fixés pendant au moins deux semaines d'activité normale (hygiène corporelle, exercices, sommeil).

OBLIGATOIRE-SEN-07 Retrait des capteurs : Les WSU devront pouvoir être retirés sans que cela n'irrite la peau.

Nota : Cette exigence vise à permettre le retrait des WSU à tout moment avec ou sans aide extérieure (outil, solution, etc.).

OBLIGATOIRE-SEN-08 Réaction cutanée : Les WSU ne doivent pas provoquer de réactions cutanées (irritation ou réaction allergique) lorsque portés pour une durée prolongée.

OBLIGATOIRE-SEN-09 Surveillance en continu : Les WSU doivent pouvoir mesurer en continu les données biométriques des astronautes et ce, pendant au moins deux semaines avant d'être remplacés, au besoin.

OBLIGATOIRE-SEN-10 Précision des capteurs : Les données acquises lorsque les capteurs sont portés par un astronaute doivent être validés au moyen d'instruments normalisés de laboratoire.

Nota : Cette exigence vise l'élaboration de capteurs pouvant éventuellement être utilisés à des fins diagnostiques.

Unité de capteurs sans fil - Exigences du système de communications

OBLIGATOIRE-COM-01 Transmission de données sans fil : La technologie doit permettre la transmission de données sans fil entre les WSU et l'unité d'interface avec les capteurs.

CIBLE-COM-02 Norme sans fil : Le système de communications sans fil devrait respecter les pratiques recommandées du Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS) pour l'utilisation des technologies de communications sans fil à faible débit (SE-S6-RD-2).

Nota : L'utilisation finale prévue de l'OAWSS (mission spatiale) nécessitera éventuellement l'adhésion à ces normes. À ce titre, le concept de l'OAWSS devrait veiller au respect de ces normes.

OBLIGATOIRE-COM-03 Disponibilité : Pour chaque heure d'exploitation, les WSU devront transmettre des données au moins 90 % du temps.

Unité de capteur sans fil - Exigences relatives à l'alimentation du système

OBLIGATOIRE-PWR-01 Autonomie : Chaque WSU doit disposer d'un système d'alimentation autonome capable de soutenir les activités des WSU (c.-à-d., collecte et transmission de données) en continu pendant au moins 2 semaines.

Nota : Par système d'alimentation autonome, on entend que chaque WSU devra fournir sa propre énergie, stockée,, acquérir l'énergie dans le milieu ambiant, ou les deux. Le WSU ne doit pas nécessiter d'énergie provenant d'une source externe branchée par fil.

Exigences liées à l'unité d'interface avec les capteurs (SIU)

OBLIGATOIRE-SIU-01 Réception des données : Le SIU doit recueillir toutes les données transmises par les WSU configurés sur une base continue.

- OBLIGATOIRE-SIU-02 Discrimination des données reçues :** Le SIU devra pouvoir distinguer les données des WSS portés par les différents astronautes.
- OBLIGATOIRE-SIU-03 Norme relative aux données médicales :** Le SIU devra pouvoir traiter et transmettre les données des WSS au DMS dans un format conforme à la norme HL7 (Health Level 7) s'appliquant aux données de santé électroniques (SE-S6-RD-3).
- OBLIGATOIRE-SIU-04 Évolutivité :** Le SIU doit permettre, selon le concept du "prêt à l'emploi", l'intégration d'un ensemble complet de données de chacun des WSU fabriqués, des WSU prévus (exigence OBLIGATOIRE-SEN-02), ainsi que des WSU additionnels au fur et à mesure qu'ils deviennent disponibles.

Nota : L'agencement de capteurs à tout moment de la mission dépendra des risques médicaux anticipés, d'événements médicaux particuliers ou des évaluations requises pour des membres de l'équipage. Ainsi, les WSU doivent pouvoir être ajoutés ou retirés du WSS au besoin.

Exigences liées au système de gestion des données

- OBLIGATOIRE-DMS-01 Traitement des données :** Le DMS doit permettre le traitement des données WSS afin d'afficher les signaux, extraire les caractéristiques de ces derniers (p. ex., ondes de l'ECG, complexe QRS, caractéristiques respiratoires, volume et durées des inspirations) et calculer les valeurs physiologiques normales (p. ex., FC).
- OBLIGATOIRE-DMS-02 Interface utilisateur :** Le DMS doit fournir une interface utilisateur afin de visualiser et de consulter les données en temps quasi-réel et de visualiser les données stockées.
- OBLIGATOIRE-DMS-03 Stockage des données :** Le DMS doit colliger et stocker toutes les données reçues du SIU.
- OBLIGATOIRE-DMS-04 Volume de stockage des données :** Le DMS doit pouvoir stocker toutes les données reçues des 2 WSS complets sur une période de 3 mois.
- OBLIGATOIRE-DMS-05 Exportation :** Le DMS doit permettre l'exportation de sous-ensembles de données dans un format compatible avec Excel et Matlab.
- OBLIGATOIRE-DMS-06 API :** Le DMS doit disposer d'une interface de programmation d'applications (API) afin d'autoriser l'accès aux données stockées à partir d'une application externe.

Exigences globales liées au système

OBLIGATOIRE-OSR-01 **Plateforme matérielle** : Le logiciel du SIU et du DMS doit pouvoir opérer sur un ordinateur personnel.

OBLIGATOIRE-OSR-02 **Contraintes environnementales** : L'OAWSS doit être conçu de façon telle que des preuves techniques démontrent qu'il peut fonctionner dans un environnement de microgravité.

CIBLE-OSR-03 **Durée de vie** : Les WSU devraient pouvoir être entreposés pendant un minimum de trois ans avant d'être utilisés et ce, sans aucune dégradation au niveau de leur rendement.

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 4 pendant la durée du contrat.

Missions visées

Missions habitées d'exploration spatiale

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer de l'annexe A.

Table 1 – Produits à livrer par thème et réunions prévus au contrat

No	Échéance	Produit livrable	Genre
D1	M1	Calendrier du projet	Documents de gestion et de suivi de projet
D2	M1	CWBS et WPD	Documents de gestion et de suivi de projet
D3	M1	Présentation à la RL	Rapport / document technique et de gestion
D4	Chaque revue et jalon	Présentation pour la réunion trimestrielle ou d'étape/d'examen de l'avancement des travaux	Rapport / document technique et de gestion
D5	Chaque revue et jalon	Rapport de suivi	Documents de gestion et de suivi de projet
D6	Chaque revue et jalon	Ordre du jour de la réunion	Documents de gestion et de suivi de projet
D7	Chaque revue et jalon	Compte rendu	Documents de gestion et de suivi de projet
D8	M2, M3, M4	Document de conception	Document/rapport technique
D9	M2, M3, M4	DCI externe (API - Système de gestion des données)	Document/rapport technique
D10	M2, M3	Plan de vérification	Document/rapport technique
D11	M3	Procédures de vérification	Document/rapport technique
D12	M4	Rapport de vérification	Document/rapport technique
D13	Tous les mois	Rapport d'étape	Documents de gestion et de suivi de projet
D14	Chaque revue et jalon	Matrice de conformité	Document/rapport technique
D15	M4	Rapport sommaire	Rapport de renseignements généraux
D16	M4	2 ensembles de capteurs sans fil	Logiciels et matériel à livrer à la fin du contrat

D17	M4	Unité d'interface avec le capteur - logiciels et matériel	Logiciels et matériel à livrer à la fin du contrat
D18	M4	Logiciel et matériel du Système de gestion de données	Logiciels et matériel à livrer à la fin du contrat
D19	M4	Guide de l'utilisateur	Document/rapport technique
D20	M2, M4	Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	Document/rapport technique
D21	M4	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	Document/rapport technique
D22	M4	Voie technologique vers l'intégration dans un EMR semblable à l'ACMS.	Document/rapport technique

Calendrier et jalons

Ce développement technologique durera jusqu'à 24 mois.

Tableau 2 - Calendrier et jalons1

Jalons	No Description	Début	Achèvement
M1	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 2 semaines
Au moins tous les 4 mois	Réunions d'examen de l'avancement des travaux	Attribution du contrat + 4 mois	Fin du contrat
M2 - DDR	Revue de conception détaillée (DDR)	M1 Fin	Attribution du contrat + 6 mois
M3 - TRR	Revue d'aptitude aux essais (TRR)	M2 fin	Adjudication du contrat + 18 mois
M4 - Revue finale	Réunion de revue finale	Attribution du contrat plus 18 mois	Attribution du contrat plus 24 mois

Technologie Prioritaire 5 (TP 5)

Imageur hyperspectral compact à base de filtres optiques

Imageur hyperspectral compact à base de filtres optiques

1. Liste des acronymes

DA	Document applicable
MHC	Mission hyperspectrale canadienne
ASC	Agence spatiale canadienne
ETC	Éléments technologiques critiques
MRC	Mission de référence conceptuelle
DES	Distance d'échantillonnage au sol
NASA	National Aeronautics & Space Administration
DR	Document de référence
DP	Demande de propositions
ET	Énoncé des travaux
PDTS	Programme de développement des technologies spatiales
NPT	Niveau de préparation de la technologie
FRT	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes
MCV	Matrice de conformité de vérification
VNIR	Visible et proche infrarouge

2. Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables ci-dessous peuvent être obtenus des sites FTP (protocole de transfert de fichiers) suivants : SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 depuis le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (TRRA)	E	29 juillet 2013
AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC)	A	11 mars 2014
AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	Sept 2012

3. Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
RD-1.	Guide PMBOK	Guide du référentiel des connaissances en gestion de projet, Project Management Institute Incorporated	4 ^e éd.	2008
RD-2.	ESTEC TEC- SHS/5574/MG/ ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices (Méthodes et pratiques de systémique de l'ASC)	Rév. B	10 mars 2010
RD-5.		M. M. Leclerc et coll., Performance of the SAC-D NIRST Flight Model Radiometer, Proceedings of SPIE, vol. 7453, 2009		2009
RD-6.		A. Hollinger, M. Bergeron, M. Maszkiewicz, S.-E. Qian, K. Qian, K. Staenz et D.G. Goodenough, Recent Developments in the Hyperspectral Environment and Resource Observer (HERO) Mission, Proc. <i>IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium</i> , pp. 1620-1623, juillet 2006.		Juillet 2006
RD-7.		S.-E. Qian, R. Girard et G. Kroupnik, « Development of Canadian hyperspectral		Juillet 2013

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
		imager onboard micro-satellites » Proc. <i>IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'2013)</i> , pp.3506-3509, juillet 2013.		
RD-8.		S.-E. Qian, M. Bergeron, R. Girard et G. Kroupnik, « Concept study of Canadian hyperspectral mission » Proc. <i>IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'2014)</i> , pp.2578-2581, juillet 2014		Juillet 2014

On peut obtenir le document SE-RD-2 depuis le site FTP (protocole de transfert de fichiers) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

On peut obtenir les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

4. Description de la technologie

Pour répondre aux besoins des ministères fédéraux canadiens en matière de données hyperspectrales pour des applications opérationnelles, l'Agence spatiale canadienne (ASC) a relancé en 2011 ses activités en vue de la mission hyperspectrale canadienne. L'ASC a collaboré avec des ministères fédéraux canadiens et elle les a mobilisés pour cerner leurs besoins, tout particulièrement Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), Ressources naturelles Canada (RNCAN), le ministère des Pêches et des Océans (MPO), Environnement Canada (EC) et le ministère de la Défense nationale (MDN). Les besoins en données dans la partie visible et dans le proche infrarouge (VNIR) du spectre se rapportent à un imageur hyperspectral ayant une largeur de bande spectrale de ~10 nm. Les besoins dans la partie de l'infrarouge de courte longueur d'ondes ne couvre que 3 larges bandes. Les besoins dans la partie de l'infrarouge thermique (TIR) visent un instrument semblable au capteur NIRST (New Infrared Sensor Technology) [RD-5].

On peut répondre aux besoins de réobservations fréquentes de zones d'intérêt au Canada à l'aide d'une constellation de trois microsattellites, chacun offrant une fauchée d'imagerie d'environ 250 km, une distance d'échantillonnage au sol (DES) de 30 m dans le VNIR et de 60 m dans le SWIR. Étant donné que cette mission ciblera certaines applications bien définies en agriculture, en foresterie et en études des milieux marins, on s'attend à ce que les exigences portant sur la qualité des images soient d'une certaine façon moins contraignantes que pour un instrument hyperspectral type de R-D ayant un rapport signal sur bruit (SNR) élevé. L'ASC a établi un ensemble d'hypothèses pour les paramètres de la charge utile permettant la conception

d'un instrument plus petit que celui de la mission HERO (Hyperspectral Environment and Resource Observer) mise en œuvre par l'ASC il y a une décennie [RD-6].

À l'automne 2012, l'ASC a financé deux autres études menées par des équipes industrielles canadiennes dans le but d'examiner la faisabilité d'imageurs hyperspectraux compatibles avec une plateforme de microsatellite. Deux concepts différents de spectromètre imageur à faible masse ont été proposés et étudiés, soit : 1) un imageur hyperspectral VNIR à filtre linéaire variable (LVF) avec un imageur hyperspectral SWIR à 3 bandes larges; 2) un imageur hyperspectral VNIR de Dyson avec un imageur hyperspectral SWIR de Dyson. Les études de faisabilité de ces deux concepts sont terminées et les résultats préliminaires ont fait l'objet de brefs rapports dans des documents de référence [RD-7 et RD-8].

À l'automne 2014, l'ASC a attribué un contrat pour l'exécution d'une étude conceptuelle en vue d'une mission hyperspectrale canadienne (MHC). Il vise notamment à :

- examiner, à valider et à consolider les besoins des utilisateurs;
- repérer les exigences en matière de qualité des services et des produits, de sorte que l'on puisse parachever les spécifications de niveau inférieur liées à la charge utile et à la mission;
- revoir le concept de mission d'une constellation de microsatellites/petits satellites dans le but de satisfaire aux besoins des utilisateurs;
- examiner les options quant à la réalisation d'une étude de rentabilisation préliminaire.

À l'origine, la portée de l'étude en vue de la MHC envisageait une plateforme de microsatellite permettant de mettre en service une mission à faible coût en peu de temps, cependant, des indications claires nous mènent à conclure qu'une plateforme plus grande serait nécessaire pour répondre aux besoins des utilisateurs des ministères. Par conséquent, on peut supposer dans le cadre de ce développement technologique que l'on aura recours à une plateforme de satellite de classe micro à petite (100 kg à 500 kg).

L'ASC envisage aussi de faire passer la distance d'échantillonnage au sol de 30 à 10 mètres pour les bandes spectrales de la région VNIR.

Les contraintes de volume et de masse imposées par les spécifications de la plateforme et les exigences en matière de distance d'échantillonnage au sol ont poussé l'ASC à envisager un spectromètre imageur à filtres optiques comme solution possible.

Un spectromètre imageur à filtres optiques remplace l'ensemble du spectromètre (p. ex. le bloc de Dyson ou d'Offner) par un simple filtre installé à l'avant du détecteur au plan focal ou sur ce dernier. Cela permet d'obtenir une conception beaucoup plus compacte de la charge utile, qui convient mieux à une plateforme de microsatellite. En éliminant les éléments optiques dispersifs, cette approche peut améliorer considérablement la largeur de la fauchée, tout en préservant la grande sensibilité et la haute résolution. Un concept d'imageur hyperspectral à filtre linéaire variable (LVF) a été proposé et étudié dans le cadre d'une étude de faisabilité antérieure portant sur un microsatellite hyperspectral et on a déterminé que c'était une solution acceptable.

Étant donné qu'un spectromètre imageur à filtres optiques n'a jamais été développé au Canada, il y a beaucoup d'inconnus et d'incertitudes, comme les filtres optiques, le détecteur CCD,

l'interférence spectrale, la pureté spectrale, le SNR réalisable, la distorsion spectrale et spatiale, la masse et le volume réels, etc. Ce projet du PDTS aidera à éliminer les inconnus technologiques inacceptables et à rendre possible la MHC en rehaussant le NMT de la technologie pertinente au niveau 3, 4 ou plus [AD-1].

Non seulement ce développement technologique rendra-t-il possible la MHC, mais il facilitera aussi l'estimation des coûts et de l'échéancier. On s'attend à ce que l'imageur hyperspectral à filtres optiques qu'il faut créer puisse réduire considérablement les coûts de la charge utile, grâce à l'élimination complète d'un spectromètre de Dyson ou d'Offner.

5. Portée des travaux

Ce contrat de PDTS vise la construction d'une maquette fonctionnelle d'un imageur hyperspectral à filtres optique au moyen de composants de qualité commerciale.

Plus précisément, la portée de ce contrat est de :

- 1) choisir une approche à filtres optiques qui convient à l'atteinte d'une DES de 10 m et du SNR voulu;
- 2) concevoir et construire une maquette fonctionnelle portative d'un imageur hyperspectral à filtres optiques (y compris les optiques d'entrée, le filtre optique, le détecteur, les circuits électroniques de lecture et l'unité de traitement numérique);
- 3) caractériser la maquette fonctionnelle en laboratoire pour mettre à l'essai la performance de cette dernière;
- 4) faire des essais sur le terrain pour simuler la plateforme de vol et acquérir des données d'imagerie qui serviront au traitement et à l'analyse ultérieurs des images;
- 5) effectuer le traitement et l'analyse des images afin de corriger tout mauvais alignement spatial causé par la dérive et l'instabilité de la plateforme, reconstruire des cubes de données hyperspectrales et démontrer l'utilisabilité de l'imagerie hyperspectrale dans le cadre d'applications opérationnelles.

6. Exigences

6.1 Principaux paramètres de performance du modèle de vol visé

La maquette fonctionnelle vise la création d'un imageur hyperspectral à filtres optiques spatial qui présente les principaux paramètres de performance suivants :

Altitude orbitale	666 km
Angle zénithal de visée	Nadir avec un maximum de +/-30 degrés de roulis
Angle d'illumination solaire	30 degrés du nadir
Fauchée au sol	> 160 km au nadir
Distance d'échantillonnage au sol (DES)	10 m
Gamme spectrale	400 à 980 nm
Intervalle d'échantillonnage spectral (SSI)	5 nm

Résolution spectrale	10 nm FWHM
Distorsion spatiale	< 0,2 DES
Distorsion spectrale	< 0,2 SSI
SNR maximal	> 400 @ 550 nm et SSI de 10 nm avec un albédo de 30 %
Masse de la charge utile	< 50 kg

6.2 Exigences liées aux paramètres de performance de la maquette fonctionnelle

La maquette fonctionnelle de l'imageur hyperspectral à filtres optiques doit être conçue et construite de façon à respecter les principaux paramètres de performance minimaux suivants :

Exigence	Paramètre	Valeur
6.2.1	Gamme spectrale	400 à 1000 nm
6.2.2	Rendement de transmission des filtres	> 85 %
6.2.3	Intervalle d'échantillonnage spectral	≤ 5 nm
6.2.4	Résolution spectrale (FWHM)	10 nm
6.2.5	Stabilité du centre de la bande spectrale	< 1 nm sur toute la fauchée
6.2.6	Stabilité FWHM spectrale	< 0,5 nm sur toute la fauchée
6.2.7	Interférence spectrale	< 5 %
6.2.8	Largeur de la fauchée (nombre de pixels utilisables le long de chaque fauchée)	> 2000 pixels
6.2.9	Co-alignement spatial de bande à bande	0,1 pixel (après correction post-traitement)
6.2.10	SNR maximum	> 200:1 @ 550 nm avec DES de 10 m, un SSI de 10 nm et un albédo de 30 %
6.2.11	Masse	< 2 kg

Remarques :

Pour l'exigence 6.2.1, en cas de problème de disponibilité dans le marché actuel des filtres optiques, une gamme spectrale réduite (p. ex. 600 à 1000 nm) peut être acceptable. Cependant, l'entrepreneur doit fournir une justification et étudier la possibilité d'obtenir la gamme spectrale voulue dans le modèle de vol en fonction du chemin connu.

Pour l'exigence 6.2.10, le SNR maximum atteint par la maquette fonctionnelle (à faible altitude) doit correspondre au SNR maximum du modèle de vol en conditions identiques lorsqu'il sera déployé à bord d'un satellite en orbite à 666 km d'altitude.

7. Tâches

7.1 Tâche 1 – Définir l'approche liée aux filtres optiques

7.1.1 L'entrepreneur doit faire des recherches et choisir une approche convenable liée aux filtres optiques, grâce à laquelle l'imageur hyperspectral à filtres optiques pourra atteindre une DES

de 10 m, tout en conservant un SNR semblable à celui atteint par un imageur hyperspectral à DES de 30 m, et ce, sans accroître l'ouverture optique.

7.1.2 L'entrepreneur doit démontrer, par analyse, que l'approche choisie liée aux filtres optiques permettra à l'imageur hyperspectral à filtres optiques de répondre aux exigences de performance d'imagerie énumérées à la section 6.

7.2 Tâche 2 – Définir l'approche pour la création de l'imageur hyperspectral et le plan de mise à l'essai

7.2.1 L'entrepreneur doit définir une approche pour la construction de la maquette fonctionnelle d'imageur hyperspectral et dresser un plan de mise à l'essai permettant de démontrer et de valider la faisabilité de la technique proposée.

7.2.2 L'entrepreneur doit cerner les principaux risques technologiques des éléments associés à la technique et la façon de faire la démonstration de ces éléments.

7.2.3 L'entrepreneur doit préparer un plan de développement pour la fabrication de la maquette fonctionnelle d'imageur hyperspectral, la mise à l'essai de la maquette fonctionnelle en laboratoire et sur le terrain avec des données d'image réelles, et le traitement des données afin de produire des cubes d'images hyperspectrales. Le plan de développement doit inclure une évaluation de la qualité des données d'image ainsi obtenues.

7.2.4 L'entrepreneur doit utiliser des éléments ou des produits commerciaux dans la mesure du possible afin de minimiser les coûts et raccourcir l'échéancier.

Jalon 1 : Revue de l'approche et du plan de développement proposés de l'imageur hyperspectral

Une réunion d'échange technique n° 1 sera organisée dans les locaux de l'ASC pour examiner les résultats des tâches 1 et 2, ce qui donnera à l'ASC la chance de revoir et d'éprouver la technique proposée pour la construction de la maquette fonctionnelle d'imageur hyperspectral, la série d'essais et la méthodologie de traitement des images.

7.3 Tâche 3 – Conception de la maquette fonctionnelle et plan de mise à l'essai détaillé

7.3.1 L'entrepreneur doit concevoir la maquette fonctionnelle de l'imageur hyperspectral en suivant l'approche de filtres optiques choisis, selon les exigences de la section 6, ainsi que tous les éléments et tout l'équipement de mise à l'essai connexes requis pour la mise à l'essai en laboratoire et sur le terrain.

7.3.2 L'entrepreneur doit préparer un plan et une procédure de mise à l'essai détaillés pour mettre à jour le plan de mise à l'essai fourni dans le plan de développement.

Jalon 2 : Revue de la conception de la maquette fonctionnelle et du plan de mise à l'essai

L'entrepreneur doit documenter et fournir à l'ASC la conception et le plan de mise à l'essai de la maquette fonctionnelle aux fins d'examen avant la construction de la maquette fonctionnelle et de l'équipement connexe. Une téléconférence sera organisée pour discuter de la conception et du plan de mise à l'essai de la maquette fonctionnelle. L'ASC examinera la conception et le plan de mise à l'essai de la maquette fonctionnelle avant de les approuver.

7.4 Tâche 4 – Construction de la maquette fonctionnelle

7.4.1 L'entrepreneur doit acquérir tous les composants et fabriquer la maquette fonctionnelle de l'imagerie hyperspectral à partir de la conception de la maquette fonctionnelle élaborée à la tâche 3, ainsi que tout l'équipement d'essai spécial nécessaire pour effectuer les essais en laboratoire et sur le terrain.

7.4.2 L'entrepreneur doit produire un guide de l'utilisateur qui décrit comment déployer et faire fonctionner la maquette fonctionnelle de l'imagerie hyperspectral et récupérer les données de cette dernière.

Jalon 3: Revue de la maquette fonctionnelle

L'entrepreneur doit produire un rapport technique pour documenter le développement de la maquette fonctionnelle et démontrer que cette dernière fonctionne correctement. On examinera aussi le guide de l'utilisateur. Cette réunion de revue devrait avoir lieu dans les locaux de l'entrepreneur pour faciliter la démonstration.

7.5 Tâche 5 – Mise à l'essai de la maquette fonctionnelle

L'entrepreneur doit effectuer deux types d'essais :

7.5.1 Essais en laboratoire

L'entrepreneur doit mener des essais en laboratoire afin de valider la performance de base de la maquette fonctionnelle. Cela permettra de démontrer que la maquette fonctionnelle fonctionne correctement. L'entrepreneur doit caractériser les paramètres de performance de base de la maquette fonctionnelle, dont au moins :

- 1) le SNR;
- 2) la gamme spectrale;
- 3) l'intervalle d'échantillonnage spectral;
- 4) la résolution spectrale;
- 5) la stabilité du centre de la bande spectrale;
- 6) la stabilité FWHM spectrale;
- 7) l'interférence spectrale.

7.5.2 Essais sur le terrain

Les essais sur le terrain peuvent être effectués à partir d'une plateforme fixe (p. ex. immeubles, tours, collines, etc.) qui permet l'imagerie et le balayage des scènes cibles. Les scènes cibles doivent comprendre au moins des zones forestières et agricoles et des scènes de détection des changements. Les images ainsi obtenues devront convenir à l'évaluation subséquente de la qualité des images.

Jalon 4 : Revue de la mise à l'essai de la maquette fonctionnelle

L'entrepreneur doit produire un rapport de mise à l'essai de la maquette fonctionnelle pour documenter tous les résultats des essais en laboratoire et sur le terrain, et présenter les résultats lors de la réunion de revue des essais.

7.6 Tâche 6 – Traitement et analyse d'images

7.6.1 L'entrepreneur doit traiter et analyser les données d'image recueillies lors de la tâche 5 afin de reconstruire des cubes de données hyperspectrales.

7.6.2 L'entrepreneur doit extraire les paramètres de qualité d'image nécessaires pour démontrer que l'imagerieur hyperspectral à filtres optiques fonctionne adéquatement pour atteindre la DES de 10 m avec le SNR exigé. Les paramètres de qualité d'image à évaluer doivent inclure au moins la performance spatiale, la performance spectrale, le SNR et l'interférence.

7.6.3 L'entrepreneur doit créer un algorithme d'analyse d'image pour corriger tout mauvais alignement spatial causé par la dérive et l'instabilité de la plateforme.

7.6.4 L'entrepreneur doit démontrer l'utilisabilité des cubes de données hyperspectrales ainsi générés pour les applications opérationnelles des utilisateurs du gouvernement, y compris au moins les applications forestières et agricoles, et la détection des changements.

7.7 Tâche 7 – Feuille de route technologique

L'entrepreneur doit fournir une feuille de route technologique (FRT), qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route technologique doit être livrée selon le format de la Feuille de route technologique (SE-AD-5).

Jalon 5 : Réunion d'examen final

Les résultats des tâches 6 et 7 doivent faire l'objet de rapports présentés lors de la réunion d'examen final, qui aura lieu au siège social de l'ASC.

L'entrepreneur doit préparer un rapport final qui résume les résultats du développement technologique et des campagnes d'essai, et qui tire des conclusions sur la maquette fonctionnelle de l'imageur hyperspectral à DES de 10 m proposé.

8. Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 3-4 pendant la durée du contrat. La maquette fonctionnelle sera mise à l'essai en laboratoire et sur le terrain.

9. Missions visées

La maquette fonctionnelle d'imageur hyperspectral à filtres optiques doit servir dans le cadre d'une mission hyperspectrale canadienne future envisagée par l'ASC.

10. Échéancier et jalons

Ce développement technologique durera jusqu'à 15 mois.

Tableau 1 – Échéancier et jalons

Jalons	Description	Début	Achèvement
RL	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat + 2 semaines
Jalon 1	Revue de l'approche proposée pour la création de l'imageur hyperspectral et du plan de développement	Fin de la RL	Attribution du contrat + 3 mois
Jalon 2	Revue de la conception et du plan de mise à l'essai de la maquette fonctionnelle	Fin de M1	Attribution du contrat + 6 mois
Jalon 3	Revue de la construction de la maquette fonctionnelle	Fin de M2	Attribution du contrat + 9 mois
Jalon 4	Revue de la mise à l'essai de la maquette fonctionnelle	Fin de M3	Attribution du contrat + 12 mois
Jalon 5	Réunion de revue finale	Fin de M4	Attribution du contrat + 15 mois ou moins

11. Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

L'échéancier concernant ces produits à livrer et autres produits contractuels devrait être précisé dans la soumission et adopté à la réunion de lancement.

Tableau 2 – Produits à livrer

No	Jalon	Produit à livrer	Échéancier sur la livraison des produits
D1	RL	Divulgaration de la BIP	2 semaines avant la réunion prévue
D2	M1	Plan d'achat et spécifications 1.1 Filtre(s) optique(s) 1.2 Détecteur pour la gamme visible-proche IR 1.3 Optiques d'entrée 1.4 Imageur hyperspectral à filtres optiques commerciaux (le cas échéant)	2 semaines avant la réunion prévue
D3	M1	Plan d'élaboration des maquettes	2 semaines avant la réunion prévue
D4	M1	Document sur les exigences	2 semaines avant la réunion prévue
D5	M2	Document de conception de la maquette fonctionnelle	2 semaines avant la réunion prévue
D6	M2	Documents de contrôle d'interface	2 semaines avant la réunion prévue
D7	M2	Plan et méthodes d'essai	2 semaines avant la réunion prévue
D8	M3	Rapport technique sur la mise en œuvre de la maquette fonctionnelle	2 semaines avant la réunion prévue
D9	M3	Guide de l'utilisateur de la maquette	2 semaines avant la réunion prévue
D10	M3	Plan et méthodes d'essai mis à jour	2 semaines avant la réunion prévue
D11	M4	Rapport d'essai	2 semaines avant la réunion prévue
D12	M5	Maquette fonctionnelle portative d'un imageur hyperspectral qui convient à une série d'essais sur le terrain et matériel connexe (le cas échéant)	Pendant la réunion
D13	M5	Rapport final	2 semaines avant la réunion prévue
D14	M5	Logiciels	2 semaines avant la réunion prévue
D15	M5	Guide de l'utilisateur de la maquette mis à jour	2 semaines avant la réunion prévue
D16	M5	Équipement (acheté aux termes du contrat)	2 semaines avant la réunion prévue

D17	M5	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	2 semaines avant la réunion prévue
-----	----	--	------------------------------------

Technologie Prioritaire 6 (TP 6)

Détection des dangers au sol pour les rovers planétaires

Détection des dangers au sol pour les rovers planétaires

Liste des sigles et acronymes

ASAS	Système d'évaluation autonome du sol
ASC	Agence spatiale canadienne
ETC	Élément technologique critique
FTP	Protocole de transfert de fichier
LIDAR	Détection et télémétrie par ondes lumineuses
MER	Rover d'exploration martienne
MSE	Mobilité de surface pour l'exploration
NMT	Niveau de maturité technologique
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes
UMI	Unité de mesure inertielle

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables énumérés ci-dessous peuvent être obtenus des sites FTP (protocole de transfert de fichier) suivants : SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 du site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/> ; SE-AD-5 du site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/> ;

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (TRRA)	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	Le 10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	Septembre 2012

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®, ou guide du référentiel des connaissances en gestion de projet)	4 ^e édition.	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices [Méthodes et pratiques de systémique de l'ASC]	Rév. B	10 mars 2010
SE-RD-5.		Trafficability of Soils: Soil Classification www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/265743.pdf		Août 1961
SE-RD-6.		A Survey on Terrain Assessment Techniques for Automomous Operation of Planetary Tobots epubs.surrey.ac.uk/721940		2010

Le document SE-RD-2 peut être obtenu à partir du site FTP (protocole de transfert de fichiers) suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/> .

On peut obtenir les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant :

<ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

À ce jour, un certain nombre de missions robotiques ont été envoyées à la surface de la planète Mars à des fins d'exploration. Bien que ces missions aient connu un franc succès au chapitre des données recueillies et de la démonstration des technologies et des capacités, les rovers ont eu de la difficulté à négocier le terrain martien. L'exemple le plus probant est certainement celui des Rovers d'exploration martiens (MER) Opportunity et Spirit qui se sont tous les deux enlisés dans régolithe meuble de Mars. Bien qu'Opportunity ait réussi à se dégager de sa fâcheuse position, Spirit est demeuré immobilisé lorsqu'une de ses roues s'est embourbée dans la subsurface, transformant du coup le rover en plateforme immobile.

Les concepts actuels d'opération de rovers d'exploration planétaire reposent grandement sur l'intervention humaine et sur la simulation de l'exploitation de rovers. Bien qu'elles permettent d'atténuer les risques en faisant intervenir des experts qui analysent les scènes et le terrain, en raison des délais au niveau des communications entre le rover et la Terre, ces méthodes d'exploitation limitent significativement l'utilisation des rovers à des fins d'exploration scientifique. En outre, la capacité des rovers à franchir en toute sécurité les trajets prévus chaque jour est limitée par son champ de

vision. L'intérêt continu à l'égard de l'exploration planétaire et les succès des récentes missions de rovers ont mené à la planification de futures missions à destination de Mars. Alors que retombées scientifiques attendues de ces missions prennent de l'importance, il en va de même des capacités et des besoins en matière de systèmes autonomes ne nécessitant pas l'intervention régulière de l'homme.

La plupart des missions d'exploration planétaire visent des objectifs scientifiques. Ainsi, la plupart des efforts techniques, comme l'amélioration du degré d'autonomie des rovers, portent principalement sur l'accroissement des retombées scientifiques de la mission. Une autonomie accrue permet au rover de franchir de plus grandes distances par jour, ce qui réduit la dépendance aux contrôles au sol. En raison de la distance qui sépare les planètes, de la bande passante et de la disponibilité des transmissions, une telle dépendance a un effet d'étranglement sur le rendement de la mission. Pour qu'ils puissent naviguer de manière autonome, les rovers doivent pouvoir évaluer le terrain qui les entoure et éviter les obstacles et les risques de toutes sortes, comme les pentes excessives et les terrains accidentés. Idéalement, les rovers devraient pouvoir braquer leurs roues de façon préventive afin de s'éloigner des zones indésirables et favoriser plutôt les itinéraires praticables sur les plans cinématique et dynamique caractérisés par un terrain sécuritaire. Toute mission de rover devrait pouvoir compter sur une intelligence artificielle capable de détecter les risques inconnus, comme un sol meuble ou sablonneux susceptible d'immobiliser le rover, et d'identifier les dangers visibles comme des obstacles, des roches, des crevasses et des surfaces accidentées.

Ce développement technologique vise l'élaboration d'un Système d'évaluation autonome du sol (ASAS) capable de caractériser en temps réel le sol à l'avant du rover et d'en évaluer la praticabilité aux fins de détection des dangers imprévus, comme un sol meuble ou sablonneux, susceptibles d'immobiliser un rover planétaire. Ce système d'évaluation autonome du terrain devrait pouvoir être installé dans un ordinateur de bord d'un rover planétaire et il devrait pouvoir tourner sur ce dernier.

Le système d'évaluation autonome du sol devrait exploiter un ensemble de capteurs optimisés capables de recueillir les informations appropriées sur les caractéristiques du sol. Il devrait également exploiter des algorithmes de fusion de données, des modèles de mécanique des sols, des algorithmes d'apprentissage-machine autorisant l'estimation et la prévision des paramètres des sols, la détection des anomalies et la classification du terrain. Le système devrait porter sur l'évaluation du sol dans un champ proche à l'avant du rover. La trousse de capteurs des propriétés du sol peut comprendre des éléments tels que des IMU, des accéléromètres, des encodeurs, des transducteurs de force, etc., pour la mesure des propriétés du sol et l'évaluation des interactions entre le sol et les roues du rover. Les caméras et les lidars sont également des outils utiles pour l'évaluation du terrain. Un bras robotique monté sur le rover peut également servir à mesurer les propriétés du sol à l'avant du rover si ce dernier est équipé d'un tel bras. Les données recueillies sur les propriétés du sol sont fusionnées puis elles sont utilisées pour mettre à jour ou alimenter le modèle de mécanique des sols en temps réel afin d'estimer les caractéristiques du sol et de prévoir en aval les propriétés du sol devant le rover. En fonction des caractéristiques et des propriétés de terrain prédites, le système classe le terrain afin de déterminer la praticabilité du sol.

Portée des travaux

La portée du travail décrite ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A.

L'entrepreneur doit réaliser les travaux requis afin de faire progresser la technologie de détection des risques de terrain au NMT 3+, niveau où la technologie pourra faire l'objet d'une démonstration sur un banc d'essai dans un laboratoire. La technologie proposée doit présentement être de NMT 2. En d'autres mots, la recherche de base portant sur la technologie devra avoir été faite et les principaux éléments du concept d'ASAS proposé devront avoir fait l'objet d'une analyse et d'une recherche. L'entrepreneur devra avoir effectué au préalable une recherche sur l'évaluation des sols aux fins de navigation de rovers planétaires.

Le Tableau 1 contient la description du développement technologique pour les tâches et le niveau d'effort attendu pour l'ensemble du projet.

Tableau 1 : Définition des tâches

Tâche	Description	Niveau d'effort (ligne directrice)
T1 - Revue et sondage sur la technologie	Collecte et examen de publications et de technologies sur les propriétés et les caractéristiques des sols martien et lunaire, sur l'exploitation de rovers d'exploration planétaire, les technologies d'évaluation autonome du terrain montées sur des rovers planétaires, et autres publications et technologies.	~5 %
T2 - Revue des missions robotiques passées et futures d'exploration planétaire	Passer en revue les missions antérieures de rovers martiens et lunaires ainsi que les missions de rover prévues. Étudier les caractéristiques et les propriétés du sol au site d'atterrissage et aux alentours. Une attention particulière devrait être portée aux pièges dans le régolithe martien ou son équivalent lunaire ainsi qu'aux effets de la température, de l'atmosphère et du vide.	~5 %
T3 - Développement des exigences relatives à la détection des dangers au niveau du sol.	Développer et dériver les exigences associées à un système d'évaluation autonome du terrain pour la détection en temps réel des dangers à l'avant du rover.	~5 %
T4 – Évaluation des capteurs, des algorithmes et des modèles et analyse des compromis.	Examiner et évaluer les capteurs disponibles permettant l'analyse des propriétés du terrain aux fins de détection des dangers au sol et d'applicabilité de ces derniers aux rovers planétaires; déterminer s'il est possible d'installer les	~10 %

	capteurs sur des rovers planétaires; examiner et évaluer les algorithmes de fusion et de traitement des données, d'apprentissage-machine, d'estimation des paramètres du sol et des modèles de mécanique des sols applicables à la détection en temps réel des risques lié au sol.	
T5 - Développement du concept du système et étude de faisabilité	À la lumière de l'examen, de l'évaluation et des exigences, élaborer le concept d'un système d'évaluation autonome du sol aux fins de détection des dangers qui y sont liés (p. ex., fosse de sable), et étudier la faisabilité d'un tel système.	~15 %
T6 - Développement et mise en oeuvre du logiciel ASAS	Conception et élaboration du logiciel de l'ASAS, y compris les modules d'acquisition des données des capteurs, de traitement et de fusion des données, d'algorithmes de modélisation et d'apprentissage machine, d'estimation des paramètres du sol, de classification des sols, d'évaluation de la praticabilité du terrain et de l'interface utilisateur. Mettre en œuvre le logiciel de l'ASAS dans un système informatique pouvant être démontré sur un rover expérimental.	~30 %
T7 - Simulation	Réaliser une simulation afin de vérifier les fonctionnalités et le rendement de l'ASAS.	~10 %
T8 - Démonstration du rover sur un banc d'essai	Élaborer un rover qui servira de banc d'essai pour l'ASAS (un rover existant peut être utilisé). Y intégrer l'ASAS et démontrer les capacités de ce dernier en matière de détection des dangers liés au sol sur un rover d'essai dans un environnement de laboratoire.	~20 %

L'entrepreneur doit réaliser une évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes (TRRA) des technologies clés qu'il prévoit utiliser dans le cadre du système proposé, conformément aux exigences énoncées dans les Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation (SE-AD-1), en utilisant les formulaires fournis par l'ASC : Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (SE-AD-4) et la Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) correspondant à chaque CTE, et un tableau-synthèse de l'évaluation de la maturité technologique et des risques réalisée à l'aide de l'Outil de consolidation de données (SE-AD-3). Il doit également décrire les caractéristiques de rendement des technologies du concept en fonction des besoins de la mission ciblée et de l'environnement.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique, qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route technologique doit également être présentée selon le format du document SE-AD-5 (Feuille de route technologique).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Exigences fonctionnelles

OBLIGATOIRE-FNC-01 Le processus de sélection des capteurs s'appuiera sur l'évaluation des technologies actuellement utilisées ou prévues dans l'espace ou à bord de prototypes de rovers.

OBLIGATOIRE-FNC-02 L'ASAS devra avoir une incidence minimale sur la masse, le volume et la consommation en énergie du rover.

OBLIGATOIRE-FNC-03 Les ressources informatiques de l'ASAS devront être tenues au strict minimum compte tenu des ressources informatiques limitées du rover. Elles devront également pouvoir tirer profit des futures technologies informatiques du rover.

Justification : L'objectif est de doter le rover d'un système de traitement embarqué, mais étant donné les ressources embarquées limitées du rover, aux fins de la démonstration, ce développement ne pourra pas utiliser de dispositifs informatiques intégrés au rover. Toutefois, les exigences de l'ASA en matière de ressources informatiques devront être minimisées afin de rendre possible la mise en œuvre du système dans des missions futures. De plus, l'entrepreneur doit aussi se pencher sur la compatibilité des algorithmes avec les FPGA dans le cadre du concept.

OBLIGATOIRE-FNC-04 Les capteurs retenus devront pouvoir être spatialement qualifiés en vue de missions d'exploration robotiques.

OBLIGATOIRE-FNC-05 L'ASAS devra pouvoir classer les sols selon leur praticabilité à la lumière des schémas et de la classification établie pour ce développement technologique.

OBLIGATOIRE-FNC-06 L'ASAS devra pouvoir estimer les propriétés du sol ainsi que les paramètres de ce dernier en temps réel afin d'en déterminer la praticabilité.

OBLIGATOIRE-FNC-07 L'ASAS devra être doté d'un modèle de mécanique des sols pouvant être mis à jour en temps réel.

OBLIGATOIRE-FNC-08 L'ASAS devra pouvoir prédire les propriétés et les paramètres du sol en temps réel.

OBLIGATOIRE-FNC-09 L'ASAS devra pouvoir faire l'objet d'une démonstration sur un rover expérimental doté des capteurs requis.

Exigences de rendement

CIBLE-PRF-01 L'ASAS devrait être doté de la capacité de prédire en aval les propriétés et les paramètres du sol au moins à deux mètres devant les roues avant, le long du trajet prévu.

CIBLE-PRF-02 L'ASAS devrait être capable de déterminer la praticabilité du terrain au moins 2 mètres devant les roues avant du rover, le long du trajet prévu.

Vérification

Le Tableau 2 présente les méthodes de vérification qui doivent être utilisées pour vérifier les exigences contenues dans le présent ET. Toutes les exigences doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

- 1) analyse (y compris les simulations);
- 2) examen de la conception;
- 3) Démonstration
- 4) inspection;
- 5) EXAMEN

Ces méthodes sont décrites ci-après.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). Dans la mesure du possible, l'analyse devrait être fondée sur des données d'essais, comme : l'extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesuré pour déterminer le rendement en fin de vie ou la combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré. L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou d'elle-même comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) seront sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire servira à prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle définira les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Examen de la conception;

Un examen de la conception sera utilisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Démonstration

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Cette forme de vérification s'applique aux exigences « oui/non » qui peuvent être vérifiées à l'aide d'une mesure quelconque. Elle

sert à démontrer que l'équipement fonctionne selon les exigences ou à vérifier des caractéristiques comme les facteurs humains, les caractéristiques d'ingénierie, les services, les caractéristiques d'accès, la transportabilité, etc.

Inspections

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

EXAMEN

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre va décliner au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Tableau 2 : Méthodes de vérification

Besoin	Méthode	Remarque :
I : Inspection, E : Essai, A : Analyse, D : Démonstration, RC : Revue de la conception		
OBLIGATOIRE-FNC-01	RC	
OBLIGATOIRE-FNC-02	RC	
OBLIGATOIRE-FNC-03	RC	
OBLIGATOIRE-FNC-04	RC	
OBLIGATOIRE-FNC-05	D, A, RC	
OBLIGATOIRE-FNC-06	D, A, RC	
OBLIGATOIRE-FNC-07	D, A, RC	
OBLIGATOIRE-FNC-08	D, A, RC	
OBLIGATOIRE-FNC-09	D	
CIBLE-PRF-01	D, A	
CIBLE-PRF-02	D, A	

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 3 pendant la durée du contrat.

Missions visées

Ce développement technologique vise principalement la fourniture d'une solution autonome et modulaire de détection des dangers au sol. Cette solution devra pouvoir être intégrée facilement aux autres missions de rovers sur la Lune ou sur Mars et compléter ces dernières, au besoin.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.6 Réunions et produits à livrer de l'annexe A.

Tableau 3 – réalisations attendues

No	Tâche	Produit livrable	Genre
D1	T1	Rapport sur la documentation et le sondage sur la technologie	Rapport technique
D2	T2	Rapport sur la revue des missions passées et futures de rovers d'exploration	Rapport technique
D3	T3	Document sur les exigences en matière de détection des dangers au sol	Rapport technique
D4	T4	Rapport sur l'évaluation technologique et les compromis	Rapport technique
D5	T5	Documents de conception de l'ASAS	Rapport technique
D6	T6	Algorithmes et modèles mathématiques	Rapport technique
D7	T6	Logiciels ASAS	Code logiciel
D8	T6	Manuels de l'utilisateur et instructions d'installation de l'ASAS	Rapport technique
D9	T7	Plateforme de simulation	Matériel
D10	T7	Résultats de simulation et de vérification	Rapport technique
D11	T8	Capteurs montés sur l'ASAS aux fins de démonstration et équipement de soutien au sil connexe	Matériel
D12	T8	Description du banc d'essai ASAS	Rapport technique
D13	T8	Plan de démonstration de l'ASAS et résultats de la démonstration	Rapport technique
D14		Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	Rapport technique
D15		Feuille de travail sur la feuille de route technologique	Rapport technique

Calendrier et jalons

Ce développement technologique durera jusqu'à 21 mois.

Tableau 4 - Calendrier et jalons

Jalons	Description	Début	Achèvement
M1 - RL	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 2 semaines
M2 - Revue des exigences	Sondage sur la technologie et la mission et revue des exigences relatives à l'ASAS	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 3 mois
M3 - Revue du concept de l'ASAS (décision	Revue des compromis technologiques, du concept de	Fin M2	Fin M2 + 6 mois

d'aller de l'avant ou non)	l'ASAS et de la faisabilité de la solution.		
M4 - Revue de la simulation de l'ASAS	Revue du simulateur de l'ASAS et résultats de simulation	Fin M3	Fin M3 + 8 mois
M5 - démonstration du concept de l'ASAS	Démonstration de l'ASAS intégré à un rover	Fin M4	Fin M4 + 2 mois
Examen final	Présentation à la réunion de revue finale	Attribution du contrat plus 17 mois	Attribution du contrat plus 21 mois

Technologie Prioritaire 7 (TP 7)

**Adaptation d'une caméra de
comptage de photons uniques
pour des applications
d'imagerie NIR et de détection à
longue portée**

Adaptation d'une caméra de comptage de photons uniques pour des applications d'imagerie NIR et de détection à longue portée

Liste des acronymes

ASC	Agence spatiale canadienne
NPT	Niveau de préparation de la technologie
FRT	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes
EMCCD	Dispositif à transfert de charges à multiplication d'électrons
NEO	Géocroiseur
NIR	Proche infrarouge
WFIRST	Télescope de sondage de l'infrarouge à grand champ

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

On peut obtenir les documents applicables énumérés ci-dessous dans les sites FTP (File Transfer Protocol) suivants : SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 se trouvent dans le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>; SE-AD-5 se trouve dans le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (TRRA)	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC)	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	Septembre 2012

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide du référentiel des connaissances en gestion de projet, Project Management Institute Incorporated	4 ^e édition	2008
SE-RD-2.	CTCU TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices (Méthodes et pratiques de systématique de l'ASC)	Rév. B	10 mars 2010

On peut obtenir le document SE-RD-2 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

On peut obtenir les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

L'objectif principal de ce développement technologique est de faire progresser la technologie canadienne d'imagerie à faible luminosité EMCCD au niveau qui correspond aux exigences de performance clés du système de caméra pour le coronographe EMCCD adapté au proche infrarouge (NIR) de la mission WFIRST (Wide-Field Infrared Survey Telescope) et du capteur de poursuite à longue portée de la mission de retour d'astéroïde.

La détection directe d'exoplanètes par coronagraphie est un secteur de plus en plus important dans la recherche astronomique et des études conceptuelles en vue de missions-phares futures comme la mission WFIRST (Wide-Field Infrared Survey Telescope) de la NASA. Les avantages d'un coronographe fonctionnant dans le domaine de la lumière visible comprennent la possibilité de mesurer des biomarqueurs clés, O₂, O₃ et H₂O, ainsi que des molécules importantes du point de vue biologique, CH₄ et CO₂, dans des planètes analogues à la Terre primitive. Des études récentes ont exposé les principales difficultés techniques liées à la détection directe de planètes, soit le contraste très élevé entre les planètes et leur étoile, ainsi que le petit écartement angulaire entre les deux. Étant donné qu'il sera extrêmement difficile d'atteindre l'objectif de détection du contraste de 10⁻⁹ à 100 mas pour les longueurs d'ondes supérieures à 500 nm, on a déterminé qu'il est essentiel pour l'imagerie directe d'exoplanètes d'avoir des appareils CCD (EMCCD) compteurs de photons à multiplication d'électrons ayant un grand rendement quantique (RQ) dans les domaines du visibles et du proche infrarouge (0,4 à 1,1 µm), à courant d'obscurité de faible intensité et à faible bruit de lecture. De plus, un système de caméra EMCCD permet d'utiliser de petits télescopes plutôt que de grands télescopes dans l'infrarouge moyen pour obtenir la résolution nécessaire sans avoir recours à un refroidissement cryogénique. Le premier objectif de cette étude est d'améliorer la sensibilité de la caméra EMCCD à la lumière dans le proche infrarouge (NIR) à un niveau qui répond aux exigences de la mission WFIRST grâce à l'intégration d'un capteur à déplétion profonde perfectionné, l'optimisation des circuits

électroniques du contrôleur et des interfaces pour l'exploitation avec le capteur EMCCD optimisé pour le proche infrarouge.

Le deuxième objectif de ce développement technologique est d'adapter la caméra EMCCD optimisée pour le proche infrarouge en vue d'applications propres à la mission de retour d'astéroïde de la NASA qui exige l'identification et la caractérisation de géocroiseurs (NEO) intéressants sur le plan scientifique et ayant une masse d'environ 10 000 kg. Le paramètre clé dans la découverte d'un géocroiseur cible convenable mesurant de un à deux mètres afin de le rapporter à l'ISS est l'albédo moyen (la réflectivité). L'albédo de la plupart des géocroiseurs est extrêmement faible et un astéroïde circumterrestre d'une taille adéquate aurait une magnitude absolue de 31 ou moins. On utilise actuellement des télescopes de recherche d'un mètre pour découvrir de tels objets, même si les géocroiseurs peuvent seulement être observés ou découverts lorsqu'ils sont très proches de la Terre. Par conséquent, il faudrait de plus grands télescopes de recherche pour trouver et suivre des objets d'une taille intéressante pour le concept de la mission de retour d'astéroïde, ce qui augmenterait la taille, le volume et la masse de la charge utile optique. L'utilisation d'un seul détecteur de comptage de photons uniques en conjonction avec de petits télescopes de recherche serait la solution de rechange la plus économique. Les résultats d'études menées par l'ASC ont démontré que l'efficacité de recherche d'un télescope détecteur de NEO peut être améliorée considérablement grâce à l'ajout d'un système de caméra EMCCD assez sensible pour détecter un seul photon. En plus du gain de sensibilité, le système de caméra EMCCD peut servir à déterminer la classe spectrale des NEO, ce qui est essentiel pour établir la taille/masse de ces corps célestes. Le capteur optique à sensibilité NIR accrue améliorerait l'efficacité de la détection pour de nouvelles découvertes et l'estimation de la composition, de l'albédo et du diamètre de NEO à faible albédo, car la contribution thermique dans la région du proche infrarouge est un indicateur de la température de surface. Sans la classe spectrale, on pourrait avoir une incertitude de 4 pour le diamètre et de 64 pour la masse de l'objet. Le travail vise à analyser les exigences en vue de l'identification et de la caractérisation de géocroiseurs (NEO) intéressants du point de vue scientifique, à développer le système d'imagerie à faible luminosité et à évaluer en laboratoire le rendement d'un système de détection EMCCD à longue portée.

Portée des travaux

La portée du travail décrite ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A.

La portée du travail comprend le développement de la technologie EMCCD optimisée pour le proche infrarouge destinée à une caméra pour le coronographe de la mission WFIRST (Wide-Field Infrared Survey Telescope) et l'adaptation de la caméra EMCCD au capteur de poursuite à longue portée en vue de la mission de retour d'astéroïde. On peut améliorer la sensibilité dans le NIR des caméras EMCCD de comptage de photons uniques en utilisant des appareils à déplétion profonde de pointe. Le travail comprend l'élaboration de spécifications et l'acquisition de l'appareil EMCCD optimisé pour le NIR, l'optimisation du conditionnement de la matrice de plan focal, et la refonte des circuits électroniques du contrôleur EMCCD de façon à ce qu'il accepte un appareil EMCCD optimisé pour le NIR, car les EMCCD optimisés pour le proche infrarouge exigent des tensions et des courants plus élevés, des formes d'onde d'horloge différentes et, peut-être, une approche différente au contrôle des formes d'onde d'horloge et un chronométrage précis. Après l'intégration et l'optimisation du système, le rendement du système d'imagerie EMCCD de comptage de photons uniques optimisé pour le NIR sera vérifié dans le cadre d'essais en laboratoire à partir des exigences opérationnelles de la mission WFIRST et de la mission de retour d'astéroïde. Le système d'imagerie sera mis à l'essai au NMT-5 dans un environnement pertinent.

WP-1 Analyse technique

- Analyse des exigences et des scénarios opérationnels de l'instrument coronographe de la mission WFIRST et du capteur de poursuite à longue portée
- Suivi des exigences du niveau de la mission à celui de l'instrument, de l'instrument à ses composants, et des composants aux sous-composants
- Élaboration des spécifications préliminaires de l'appareil EMCCD identifiant les paramètres de rendement clés, les facteurs de conception et les contraintes
- Élaboration des spécifications du système optique d'un capteur de poursuite à longue portée
- Identification d'un observatoire télescopique qui convient à une démonstration du rendement des fonctions de recherche et de poursuite
- Identification d'installations en vue des essais environnementaux (NMT-5)

WP-2 Acquisition

- Sélection du fournisseur et discussion des spécifications préliminaires de l'appareil EMCCD
- Analyse des options de conditionnement et de refroidissement en établissant un équilibre entre les exigences et les capacités de fabrication
- Analyse des exigences liées aux circuits électroniques du contrôleur
- Préparation des spécifications finales de la matrice de plan focal
- Acquisition d'un appareil EMCCD optimisé pour le proche infrarouge
- Acquisition d'éléments optiques convenables

WP-3 Conception technique

- Définition des exigences se rapportant au fonctionnement, au rendement, aux interfaces, à l'environnement, à la fiabilité, à la sécurité, etc. du système de caméra EMCCD optimisé pour le proche infrarouge
- Analyse et mise à jour de la conception des circuits électroniques de la caméra, sélection des composants et analyse de la conception du conditionnement pour accommoder le système EMCCD optimisé pour le proche infrarouge. Les circuits électroniques mis à jour de la caméra doivent pouvoir survivre aux conditions environnementales de la mission réelle.
- Conception d'interfaces destinées à l'appareil EMCCD optimisé pour le proche infrarouge
- Analyse optique, thermique, mécanique et structurale du système de caméra optimisé pour le proche infrarouge

WP-4 Fabrication du contrôleur de caméra

- Sélection de pièces, de composants, de matériaux et de processus capables de survivre aux conditions environnementales de la mission réelle
- Choix de fournisseurs de biens et services
- Acquisition de pièces et de composants
- Fabrication de circuits imprimés
- Fabrication du contrôleur
- Mise à niveau/développement des logiciels du contrôleur
- Exécution d'essais électriques et fonctionnels, et débogage

WP-5 Développement de la maquette fonctionnelle du système de caméra EMCCD optimisé pour le NIR

- Intégration de l'appareil EMCCD optimisé pour le proche infrarouge, du contrôleur, des circuits électroniques, des composants et des sous-systèmes pour créer un système d'imagerie
- Exécution d'essais électriques et fonctionnels du système d'imagerie
- Optimisation des paramètres de rendement clés (CIC, courant d'obscurité, ETC, bruit de lecture, etc.)

WP-6 Mise à l'essai

- Élaboration du plan de mise à l'essai en fonction des scénarios opérationnels du coronographe WFIRST et du capteur de poursuite à longue portée
- Élaboration du plan de mise à l'essai conformément aux exigences environnementales de la mission WFIRST, de la mission de retour d'astéroïde et du NMT-5
- Prise de mesures de sources représentatives en modes analogue et de comptage de photons. Un observatoire télescopique peut être utilisé pour la démonstration du rendement des fonctions de recherche et de poursuite.
- Optimisation des paramètres du système d'imagerie (CIC, courant d'obscurité, ETC, bruit de lecture, etc.) pour obtenir une acquisition de données conforme aux scénarios opérationnels de l'instrument
- Mise à l'essai de la maquette fonctionnelle dans un environnement pertinent afin d'atteindre le NMT-5
- Collecte, réduction et analyse des données
- Préparation d'un rapport détaillé sur la mise à l'essai

L'entrepreneur doit mener une Évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes (TRRA) des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système, conformément aux exigences des Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation (SE-AD-1) de l'ASC, au moyen des feuilles de travail fournies par l'ASC – la Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC) (SE-AD-4) et la Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) pour chaque ETC – faire la consolidation à l'aide de l'Outil de consolidation de données pour l'Évaluation de la maturité technologique et des risques (SE-AD-3), et décrire les caractéristiques de performance de la technologie en ce qui a trait aux besoins de la mission ciblée dans l'environnement donné.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique (FRT), qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route technologique doit être livrée selon le format de la Feuille de route technologique (SE-AD-5).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

L'appareil NIR-EMCCD doit avoir un rendement quantique >50 % à 900 nm, tout en respectant les paramètres de performance clés du capteur EMCCD existant énumérés dans le tableau 1.

Tableau 1. Exigences de performance pour le capteur EMCCD

Paramètre	Besoin
Format de la matrice	1024 x 1024 pixels
Bruit d'injection de charge (CIC)	< 0,001 e-/s
Bande passante	400-1100 nm
Courant d'obscurité	< 0,001 e-/s
Gain EM du contrôleur de caméra	> 3000 (jusqu'à 5000)
Gamme dynamique	> 42 dB

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 5.

Missions visées

La mission WFIRST (Wide-Field Infrared Survey Telescope) et la mission de retour d'astéroïde de la NASA.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

- Spécification pour des appareils et des systèmes de poursuite en vue d'applications d'imagerie NIR et de détection à grande portée
- Résultats de l'analyse technique
- Documentation sur la conception des éléments électroniques
- Procédures de fabrication
- Plan d'intégration
- Plans et procédures d'essai
- Conceptions du contrôle des interfaces électriques et mécaniques
- Rapports d'essai
- Une (1) maquette fonctionnelle d'un système d'imagerie NIR-EMCCD autonome avec circuits électroniques de contrôle et logiciels d'acquisition des données
- Évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes (TRRA) des technologies clés et feuille de route technologique

Échéancier et jalons

Le développement technologique durera jusqu'à 24 mois.

Tableau 2 – Échéancier et jalons 1

Jalons	Description	Début	Achèvement
M1	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 2 semaines
M2	Étude technique	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 2 mois
M3	Acquisition d'appareils EMCCD et d'éléments optiques	Attribution du contrat plus 2 mois	Attribution du contrat plus six mois
M4	Conception technique	Attribution du contrat plus 2 mois	Attribution du contrat Plus 6 mois
M5	Réunion d'autorisation des travaux	Attribution du contrat plus 6 mois	Attribution du contrat Plus 6 mois
M6	Fabrication des contrôleurs de caméra	Attribution du contrat Plus 6 mois	Attribution du contrat Plus 9 mois
M7	Développement des maquettes fonctionnelles du système de caméra EMCCD	Attribution du contrat plus 9 mois	Attribution du contrat Plus 15 mois
M8	Caractérisation du système, mise au point, débogage, optimisation, essais, essais environnementaux (TRL-5)	Attribution du contrat plus 15 mois	Attribution du contrat Plus 21 mois
M8	Nettoyage de données, analyse et préparation des rapports sommaires.	Attribution du contrat plus 21 mois	Attribution du contrat Plus 23 mois
M9	Préparation des rapports finaux et des présentations	Attribution du contrat plus 23 mois	Attribution du contrat plus 24 mois
Examen final	Présentation à la réunion de revue finale	Attribution du contrat plus 24 mois	Attribution du contrat plus 24 mois

Technologie Prioritaire 8 (TP 8)

CATS modulaire

CATS modulaire

Liste des sigles et acronymes

ALISS	Atmospheric Limb Sounding Satellite
BRDF	Fonction de distribution de réflectance bidirectionnelle
CATS	Système canadien de tomographie atmosphérique
EBB	Maquette fonctionnelle élaborée
FOP	Prisme égalisateur de champ / trieur d'ordre
GSE	Matériel de servitude au sol
iFOV	Champ de vision instantané
FWHM	Largeur totale à mi-hauteur
OSIRIS	Optical Spectrograph and InfraRed Imager System
SNR	Rapport signal-bruit
NMT	Niveau de maturité technologique
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation de la maturité technologique et des risques
TVac	Vide thermique
URD	Document de définition des exigences des utilisateurs
UV-VIS	Ultraviolet-visible
μ-CATS	CATS pour microsatellite

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables ci-dessous peuvent être obtenus des sites FTP (protocole de transfert de fichiers) suivants : SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 depuis le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>; SE-AD-5 depuis le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

N° d'AD	Numéro du document	Titre du document	N° de révision
AD-1	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B
AD-2	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E
AD-3	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G
AD-4	CSA-ST-FORM-0003	Critères d'identification des éléments technologiques critiques	A
AD-5	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de révision
RD-1		ALiSS User Requirement Document (document de définition des exigences des utilisateurs ALiSS) Disponible sur demande auprès de TPSGC avec entente de non-divulgaration	Ébauche 0.3
RD-2	CSA-SMSAT-RD-0009	μ-CATS User Requirements Document (document de définition des exigences des utilisateurs μ-CATS) Disponible sur demande auprès de TPSGC avec entente de non-divulgaration	Ébauche 0.9
RD-3	TNO/CSA/51307/1000	Modular CATS: Requirements and Conceptual Design Description Document (CATS modulaire : document de description des exigences et de définition conceptuelle) Disponible sur demande auprès de TPSGC avec entente de non-divulgaration	Rév. P1
RD-4	ANL/CSA/51307/1002	Modular CATS: Structural, Thermal, STOP Analysis Report (CATS modulaire : rapport d'analyse structurale, thermique et optique) Disponible sur demande auprès de TPSGC avec entente de non-divulgaration	Rév. P0
RD-5	ANL/CSA/51307/1001	Modular CATS: Straylight Analysis Report (CATS modulaire : rapport d'analyse de la lumière diffuse) Disponible sur demande auprès de TPSGC avec entente de non-divulgaration	Rév. P0
RD-6	ANL/CSA/51307/1000	Modular CATS: Optical Analysis Report (CATS modulaire : rapport d'analyse des éléments d'optique) Disponible sur demande auprès de TPSGC avec entente de non-divulgaration	Rév. P0
RD-7	PLN/CSA/51307/1000	Modular CATS MAIT and Alignment Plan (CATS modulaire : MAIT et plan d'harmonisation) Disponible sur demande auprès de TPSGC avec entente de non-divulgaration	Rév. P0

Description de la technologie

La configuration de référence du Système canadien de tomographie atmosphérique (CATS) a été établie pour l'Atmospheric Limb Sounding Satellite (ALiSS), ainsi que pour un microsatellite spécialisé (μ-CATS). Essentiellement, l'instrument CATS est un spectromètre UV-VIS (ultraviolet-visible) dispersif qui assure la résolution verticale de profils atmosphériques en mesurant la lumière solaire diffusée par le limbe. Le système a été conçu à l'origine en tant que successeur de l'instrument canadien OSIRIS (Optical Spectrograph and InfraRed Imager System), qui avait connu un franc succès. Toutefois, la complexité des exigences

énoncées dans les documents de définition des exigences des utilisateurs [RD1, RD2] a motivé une modification du concept d'OSIRIS et le recours à un système modulaire. Dans cette solution, l'instrument CATS comprend une unité optique et une unité électronique à distance. L'unité optique est constituée de plusieurs modules; chaque module est dérivé du concept de l'instrument OSIRIS, mais cible une région spectrale-spatiale tronquée du limbe de l'atmosphère.

Par rapport à OSIRIS, l'instrument CATS vise principalement une amélioration de la résolution verticale et longitudinale, en plus d'un élargissement du domaine spectral et une amélioration de la résolution spectrale. Il existe à l'heure actuelle une solution de conception qui fait appel à plusieurs modules contenant chacun une plaque à fentes multiples dans le plan de l'image de l'optique d'entrée. Le recours à plusieurs modules dotés de plaques à fentes multiples permet de satisfaire aux exigences en matière d'échantillonnage et de champ de vision (FoV) et convient à la vaste plage dynamique requise pour la lumière solaire diffusée par le limbe. L'enregistrement simultané dans des spectres multiples satisfait à plusieurs exigences clés, mais il pose un risque élevé de présence de lumière diffuse et parasite. L'une des principales motivations associées à cette technologie prioritaire sera de démontrer le rendement des modules de l'instrument CATS en ce qui concerne la lumière diffuse.

Principalement en raison de l'échantillonnage longitudinal possible, on retrouve quelques différences entre les solutions de conception existantes pour les missions ALiSS et μ -CATS. Les principaux paramètres de conception et les modules nominaux des deux mises en œuvre figurent dans le tableau 1 pour la mission ALiSS et le tableau 2 pour μ -CATS. Plus précisément, trois modules distincts sont requis dans le cas de la mission ALiSS, alors que le nombre de modules se limite à deux pour μ -CATS.

Tableau 1 : Modules ALiSS

ALiSS	Bleu de haute altitude	Bleu de basse altitude	Chappuis et aérosols
Domaine spectral	270-360 nm	330-520 nm	480-960 (1000) nm
Résolution spectrale	1 nm	0,5 nm	1 nm
Distance verticale	25-60 km	5-40 km	10 – 45 km
iFOV (vertical)	1 km	0,2 km	0,2 km
Nombre de fentes	7	7	7

Tableau 2 : Modules μ -CATS

μ -CATS	Bleu-vert	Vert-rouge
Domaine spectral	280-550 nm	500-1000 nm
Résolution spectrale	0,6 nm	1,1 nm
Distance verticale	5-60 km	5-60 km
iFOV (vertical)	0,2 km	0,2 km
Nombre de fentes	4	4

Dans tous les cas, chaque fente de la plaque à fentes multiples permet l'échantillonnage d'une région spatiale tronquée du limbe de l'atmosphère, et les profils verticaux sont établis en faisant balancer l'engin spatial le long des altitudes tangentes. Pour la mise en œuvre associée à l'ALiSS, la magnitude et la durée de ce balancement sont limitées à 7 minutes d'arc sur 7 secondes, aux fins de comptabilité avec les autres instruments [RD1]. Par conséquent, 7 fentes sont nécessaires pour couvrir la gamme d'altitudes de 35 km qui est requise pour chaque module. Dans la mise en œuvre du microsatellite, la durée du balayage correspond au temps requis pour satisfaire l'exigence visée d'un échantillonnage longitudinal de 100 km [RD2]. Ce temps est d'environ 14,6 secondes pour μ -CATS, avec une fréquence de balayage d'environ 1 km/s au limbe, compte

tenu des limites imposées par les temps d'exposition nécessaires pour respecter les exigences relatives au rapport signal-bruit (SNR). Ainsi, au moins 4 fentes sont requises pour couvrir la distance de 55 km qui est requise pour chaque module.

Portée des travaux

L'étendue des travaux définie ici complète la section A.6 « Description générique des tâches » de l'annexe A. Les travaux comprennent la livraison d'une maquette fonctionnelle élaborée (EBB) pour un seul module de l'unité optique CATS. La maquette fonctionnelle élaborée se situe à mi-chemin entre la maquette et les modèles technologiques. Elle est construite en utilisant des composantes de qualité commerciale, et sa configuration se rapproche de celle du modèle de vol. Il s'agit d'une unité entièrement intégrée dont la configuration et les interfaces sont représentatives du modèle de vol.

Par conséquent, l'EBB du module optique CATS doit respecter les mêmes exigences de forme, de taille et de fonction que le système de vol futur. La maquette fonctionnelle élaborée doit correspondre au module μ -CATS « bleu-vert » ou au module « bleu de basse altitude » de la mission ALiSS. Ce module doit servir à valider le rendement dans l'environnement ambiant, et notamment à caractériser de façon précise la lumière parasite et diffuse. L'EBB doit également être soumise à des essais de survivabilité dans un environnement à vide thermique (TVac) représentatif, et les principaux paramètres de rendement doivent être mesurés aux extrémités de la plage de températures de service sous vide thermique. L'inclusion potentielle de l'EBB sur de futures plateformes suborbitales, tel un ballon stratosphérique, devrait être prise en considération. Dans la mesure du possible, les composantes du module choisi qui ont été acquises antérieurement (p. ex. réseau, plaque à fentes multiples, FOP) devraient être intégrées. Il est permis, dans le cadre de ce contrat, de limiter l'unité électronique CATS au matériel de servitude au sol (GSE).

Veuillez noter que les activités liées à l'adaptation du module produit en vue d'une démonstration suborbitale (p. ex. mécanisme de balayage, interface mécanique et unité électronique) ne font pas partie de l'étendue des travaux.

La livraison de la maquette fonctionnelle élaborée comprendra les éléments suivants :

a. Revue de définition préliminaire et définition des exigences :

Cette activité vise à établir de façon définitive les exigences associées à l'EBB d'un seul module de l'unité optique CATS. Cela doit inclure un court examen des concepts existants et des exigences résultant du contrat antérieur du Programme de développement des sciences et de la technologie (PDST) qui portait sur la conception modulaire destinée au CATS [RD3], ainsi que des concepts développés pour la mise en œuvre de l'instrument à bord d'un microsatellite. Au minimum, la conception préliminaire de l'EBB doit comprendre un module de l'unité optique CATS et inclure un détecteur compatible avec toutes les activités d'essai dans l'environnement à vide thermique précisé.

Un document de définition des exigences de l'EBB doit être rédigé et être approuvé par l'autorité technique. S'il y a lieu, une distinction claire sera établie entre les exigences associées à l'EBB et celles qui s'appliquent au modèle de vol prévu. En outre, il faudra déterminer les exigences omises dans l'énoncé de travail actuel et les études antérieures et définir plus précisément les exigences énoncées dans le présent document.

b. Revue de conception détaillée :

La conception proposée doit être étayée au moyen de modèles optiques, ainsi que d'analyses thermiques et structurales. Cette activité devrait reposer en grande partie sur les analyses antérieures [RD3, RD4, RD5, RD6], mais les adaptations requises pour l'EBB doivent être incluses dans les modèles mis à jour. Si possible, la conception détaillée doit inclure des composantes représentatives de la version de vol (matériaux, miroirs, réseau, structure, revêtements, filtres), de même que les composantes du module

choisi qui ont été acquises précédemment (réseau, plate à fentes multiples, FOP). Si le budget actuel ne permet pas l'utilisation de composantes représentatives, des composantes commerciales peuvent être utilisées à la place si elles ont été caractérisées adéquatement (p. ex. BRDF), afin de déterminer le rendement prévu de l'unité de vol orbital en analysant celui de l'EBB. Au minimum, les composantes, les revêtements, les adhésifs et le conditionnement du détecteur de l'EBB doivent tous être compatibles avec l'environnement à vide thermique précisé. Les considérations relatives au détecteur doivent en outre englober la fonction de refroidissement requise et la dissipation appropriée de la chaleur. Enfin, l'activité de la conception détaillée doit inclure une évaluation du cheminement jusqu'à la spatioqualification, ainsi qu'une évaluation initiale de la conformité aux exigences définies préalablement.

c. Plan d'harmonisation et de validation :

Le plan d'harmonisation existant de l'instrument CATS [RD7] sera examiné brièvement, et un plan d'harmonisation mis à jour sera élaboré pour un seul module. De plus, cette activité doit comprendre l'élaboration d'un plan de validation pour l'EBB; ce plan précisera les principaux paramètres de rendement qui feront l'objet d'essais dans l'environnement ambiant et l'environnement représentatif à vide thermique (p. ex. plages de températures de fonctionnement et de survie), et les tests connexes y seront définis. Cette activité inclura également la définition de l'équipement électronique, mécanique, thermique et optique de servitude au sol, en appui aux activités d'harmonisation et d'essai.

d. Acquisition, assemblage et intégration :

Cette activité permettra de transformer le concept en EBB. S'il y a lieu, la mise à l'essai de composantes spécifiques devrait être incluse, et les modèles existants devraient être mis à jour pour refléter le rendement final des pièces.

e. Essais en milieu ambiant :

Les activités de mise à l'essai de l'EBB dans des conditions ambiantes en laboratoire doivent inclure la validation des principaux paramètres de rendement déterminés précédemment (p. ex. résolution spectrale, iFOV, etc.), et elles doivent inclure une caractérisation détaillée de la lumière diffuse. La caractérisation de la lumière diffuse devrait en outre inclure l'application d'algorithmes en vue de corriger les valeurs mesurées et d'améliorer le rendement en ce qui concerne la lumière diffuse. Les résultats des essais sur le rendement et la lumière diffuse doivent être comparés aux prédictions des modèles, aux fins de validation. Les modèles doivent être mis à jour en conséquence.

f. Essais en environnement :

Cette activité inclut la mise à l'essai et la démonstration de la maquette fonctionnelle élaborée dans l'environnement à vide thermique précisé. Ces essais doivent permettre de vérifier l'opérabilité dans le vide et la survivabilité de l'EBB pour la plage de températures de survie spécifiée. Ces essais doivent aussi permettre de valider les principaux paramètres de rendement déterminés précédemment aux valeurs extrêmes de la plage de températures de fonctionnement précisée.

g. Feuille de route des NMT :

L'entrepreneur doit évaluer la maturité des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système proposé ainsi que les risques connexes, conformément aux exigences énoncées dans les Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation [document AD-1, TRRA]. Pour ce faire, il utilisera les feuilles de travail suivantes fournies par l'ASC : Critères d'identification des éléments technologiques critiques [AD-4] et Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique [AD-2] pour chaque élément technologique critique; synthèse à l'aide de l'Outil de consolidation de données de l'évaluation de la maturité technologique et des risques [AD-3]. Le rapport d'évaluation de la maturité technologique et des risques doit également décrire les caractéristiques de rendement des technologies du concept en fonction des besoins de la mission et de l'environnement visé.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique (TRM), qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission, ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route doit être présentée selon le format du document AD-5 (Feuille de route technologique).

L'objectif est de comprendre pleinement où nous en sommes technologiquement par rapport à la création d'un tel système et d'avoir une idée du cheminement technologique requis jusqu'à la spatioqualification, ses différentes étapes et les coûts et l'échéancier de mise en œuvre.

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Les paragraphes suivants précisent la configuration prévue du module « bleu de basse altitude » de la mission ALiSS et serviront de lignes directrices pour ce contrat. La conception du module « bleu-vert » de la mission μ -CATS est très semblable. Un ensemble d'exigences seront également décrites.

Aperçu du concept

Les schémas de configuration des différents modules CATS sont très semblables et sont largement inspirés de la conception antérieure d'OSIRIS. La figure 1 illustre un plan nominal du module « bleu de basse altitude » de l'unité optique, sans son couvercle. Le module comprend un déflecteur d'entrée, des aubes déflectrices, un réflecteur parabolique hors axe et un collimateur, un miroir de repliement, une plaque à fentes multiples, un réseau sphérique, une caméra à miroir, un FOP (prisme égalisateur de champ / trieur d'ordre), un détecteur et un mécanisme d'obturation pour la mesure du courant d'obscurité. Comme pour OSIRIS, la trajectoire de la lumière est déviée hors du plan par le FOP afin de réduire la lumière diffuse.

Au plan focal du miroir objectif se trouve une plaque à fentes multiples. La projection nominale de la plaque à fentes multiples au limbe de l'atmosphère est illustrée à la figure 2. Chaque fente permet l'échantillonnage d'une région spatiale tronquée, et le profil vertical est établi en faisant balancer l'engin spatial le long des altitudes tangentes. La largeur des fentes (dans l'axe d'élévation) est fixée de sorte que le champ de vision instantané (iFOV) vertical et la résolution spectrale voulus soient atteints. Aussi, la longueur des fentes (le long de l'azimut) varie, afin d'atteindre le rapport signal-bruit (SNR) requis aux altitudes précisées pour compenser la variation de la luminance en fonction de l'altitude au limbe de l'atmosphère.

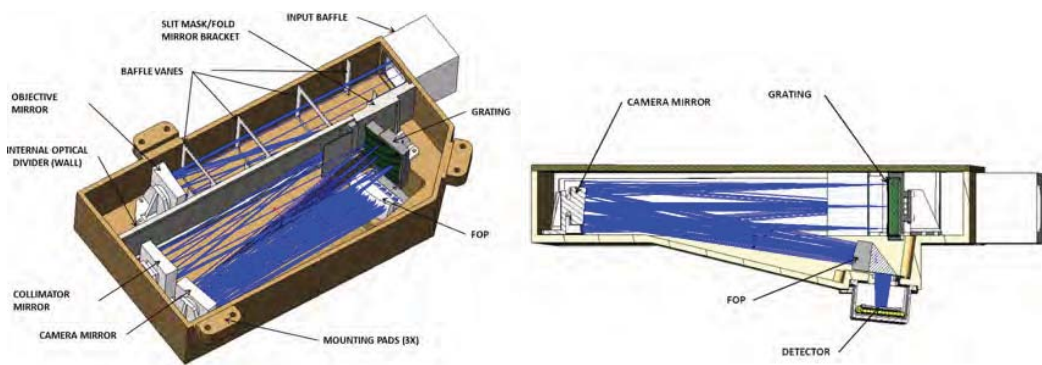


Figure 1 : Module « bleu de basse altitude » (sans le couvercle)

La plupart des composantes optiques de l'unité optique CATS, y compris le banc optique, la structure et les miroirs, sont en principe faites d'aluminium pour maximiser l'athermalisation du concept. Ce n'est cependant

pas le cas du FOP et du réseau sphérique (qui sont des composantes de verre), ainsi que du détecteur et du conditionnement connexe.

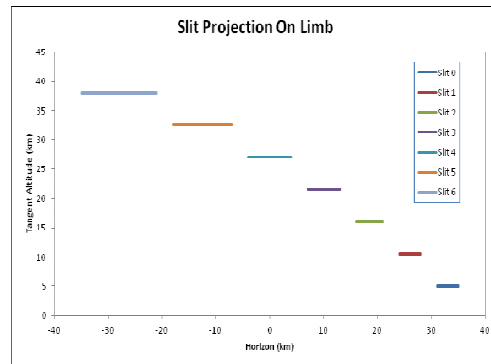


Figure 2 : Projection des fentes – Module bleu de basse altitude

Exigences :

Les exigences relatives à la maquette fonctionnelle élaborée (EBB) du module optique sont énoncées ci-dessous. Ces exigences seront confirmées à la suite de l'activité « **revue de définition préliminaire et définition des exigences** ».

Exigences fonctionnelles

FNC-001 Forme, taille, fonction :

La maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS doit représenter fidèlement le module « bleu de basse altitude » ou le module « bleu-vert ».

Remarque : L'EBB doit représenter le futur module de vol en ce qui concerne la forme, la taille et la fonction. La plaque à fentes multiples et la disposition de chacune des fentes doivent être représentatives du futur module de vol prévu. S'il est impossible de recourir à des composantes représentatives de la version de vol, les composantes doivent être caractérisées adéquatement, de sorte qu'il soit possible de déterminer le comportement prévu de l'unité de vol en analysant le rendement de l'EBB.

Exigences physiques

PHY-001 Masse :

La masse de la maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS doit être inférieure à 7,0 kg (seuil) et devrait être inférieure à 5,0 kg (objectif).

Remarque : Ce inclut la structure et le déflecteur, mais pas le harnais ni les composantes électroniques à distance.

PHY-002 Volume :

La maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS doit être contenue dans un volume de 450 mm x 300 mm x 200 mm.

Remarque : Cela inclut l'espace occupé par le déflecteur d'entrée, de même que par le détecteur.

Exigences de rendement

PRF-001 Résolution spectrale :

La résolution spectrale de la maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS doit être de 0,5 nm (FWHM) dans le cas du module « bleu de basse altitude » ou de 0,6 nm (FWHM) dans le cas du module « bleu-vert ».

PRF-002 Échantillonnage spectral :

L'intervalle d'échantillonnage spectral (nm/pixel) de la maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS doit être plus petit que la résolution spectrale requise par un facteur d'au moins 2 (seuil) et devrait l'être par un facteur de 2,4 (objectif) à des fins de cohérence avec OSIRIS.

PRF-003 Domaine spectral :

Le domaine spectral de l'unité de mise au point technique, pour un seul module de l'unité optique CATS, doit être de 330 à 520 nm dans le cas du module « bleu de basse altitude » ou de 280 à 550 nm dans le cas du module « bleu-vert ».

PRF-004 iFOV :

Le champ de vision instantané angulaire de chaque fente doit être compatible avec une projection de 0,2 km (FWHM) au point de tangence du limbe de l'atmosphère à une altitude de 600 km.

PRF-005 Lumière diffuse :

Le signal nominal de la maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS, au-delà de la contribution totale de la lumière diffuse, doit être supérieur à 10^3 pour l'ensemble des fentes et devrait être supérieur à 10^4 après l'application d'algorithmes de correction.

PRF-006 Rapport signal-bruit :

S'il y a lieu, le rapport signal-bruit pouvant être atteint par la maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS doit être conforme aux documents RD1 et RD2.

Exigences environnementales

ENV-001 Températures de survie :

La maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS doit survivre à trois cycles d'exposition à une plage de températures allant de -10 °C à 50 °C à vide à une pression de 10^{-5} torr ou moins.

Remarque : D'autres plages de températures peuvent être proposées si des composantes commerciales sont intégrées. Dans ce cas, le recours à des composantes commerciales doit être justifié.

ENV-002 Températures de fonctionnement :

La maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS doit pouvoir être exploitée à l'intérieur d'une plage de températures allant de 10 °C à 25 °C à vide à une pression de 10^{-5} torr ou moins.

Remarque : D'autres plages de températures peuvent être proposées si des composantes commerciales sont intégrées. Dans ce cas, le recours à des composantes commerciales doit être justifié.

ENV-003 Compatibilité avec une exploitation dans le vide :

Toutes les composantes commerciales intégrées à la maquette fonctionnelle élaborée (EBB) d'un seul module de l'unité optique CATS doivent être compatibles avec une exploitation dans le vide à une pression de 10^{-5} torr ou moins.

Vérification

Le tableau 3 présente les méthodes qui doivent être utilisées pour vérifier les exigences contenues dans le présent ET. Toutes les exigences doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

1. analyse (y compris la simulation);
2. examen de la conception;
3. démonstration;
4. inspection;
5. essais.

Ces méthodes sont décrites ci-après.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). Dans la mesure du possible, l'analyse devrait être fondée sur des données d'essais, comme : l'extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesuré pour déterminer le rendement en fin de vie ou la combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré. L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou seule comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) doivent être sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire doit servir à prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle doit définir les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Examen de la conception

Un examen de la conception doit être utilisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Démonstration

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Cette forme de vérification s'applique aux exigences « oui/non » qui peuvent être vérifiées à l'aide d'une mesure quelconque. Elle sert à démontrer que l'équipement fonctionne selon les exigences ou à vérifier des caractéristiques comme les facteurs humains, les caractéristiques d'ingénierie, les services, les caractéristiques d'accès, la transportabilité, etc.

Inspection

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de

l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

Essais

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre va décliner au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Tableau 3 : méthodes de vérification

Exigence	Nom	Méthode*	Remarque
FNC-001	Forme, taille, fonction	RC	
PHY-001	Masse	I	
PHY-002	Volume	I	
PRF-001	Résolution spectrale	E	
PRF-002	Échantillonnage spectral	E	
PRF-003	Domaine spectral	E	
PRF-004	iFOV	E	
PRF-005	Lumière diffuse	E, A	Les essais sont la principale méthode utilisée.
PRF-006	Rapport signal-bruit	E, A	L'analyse sert à élargir les résultats d'essai.
ENV-001	Températures de survie	E	
ENV-002	Températures de fonctionnement	E	
ENV-003	Compatibilité avec une exploitation dans le vide	D	
* I : Inspection, E : Essais, A : Analyse, D : Démonstration, RC : Revue de la conception			

Échéancier NMT

Pour la mise au point de cette technologie, on vise l'atteinte du NMT 5 pendant la durée du contrat.

Missions visées

ALiSS, μ -CATS

Produits à livrer

Les produits à livrer pour l'activité sont énumérés dans le tableau 4. Ils s'ajoutent à ceux de la section A.7 « Réunions et produits à livrer prévus au contrat » de l'annexe A.

Tableau 4 : Produits à livrer

ID	Échéance	Produit à livrer	Type
D1	M2	Document de définition des exigences	Document technique/rapport
D2	M2	Document de définition préliminaire	Document technique/rapport
D3	M3	Document de définition détaillée	Document technique/rapport

ID	Échéance	Produit à livrer	Type
D4	M4	Plan de vérification et d'harmonisation	Document technique/rapport
D5	M5	Rapport de vérification	Document technique/rapport
D6	Chaque revue et jalon	Matrice de conformité	Document technique/rapport
D7	M5	Rapport sommaire	Rapport général d'information
D8	M2, M3, M5	Modèles et analyses	Analyse et données techniques
D9	M5	Matériel	Produit fini à livrer (matériel et logiciels)
D10	M5	Logiciels	Produit fini à livrer (matériel et logiciels)
D11	M5	Guide de l'utilisateur	Document technique/rapport
D12	M5	Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	Document technique/rapport
D13	M5	Feuille de route technologique	Document technique/rapport

Calendrier et jalons

Ce développement technologique devrait durer jusqu'à 18 mois. Un calendrier proposé est détaillé dans le tableau 5. Veuillez noter que la décision d'aller de l'avant ou non sera officiellement prise à la réunion de revue d'étape intitulée « revue de conception détaillée ». Un calendrier différent, d'une durée maximale de 24 mois, peut être proposé dans la mesure où il comprend une réunion sur la décision d'aller de l'avant ou non à l'étape de la conception détaillée.

Tableau 5 – Calendrier et jalons

Jalons	Description	Fin
M1 – RL	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat + 2 semaines
RET – au besoin	Réunions d'échange technique	S.O.
M2 – PDR	Revue de définition préliminaire (PDR)	Attribution du contrat + 4 mois
M3 – DDR – décision d'autoriser les travaux	Revue de conception détaillée (DDR) – décision d'autoriser les travaux	Attribution du contrat + 8 mois
M4 – TRR	Revue d'aptitude aux essais (TRR)	Attribution du contrat + 12 mois
M5 – Revue finale	Réunion de revue finale	Attribution du contrat + 18 mois

Technologie Prioritaire 9 (TP 9)

**Joints spatioqualifiables entre
un polymère renforcé de fibre
de carbone (CFRP) et de
l'aluminium**

Jointes spatioqualifiables entre un polymère renforcé de fibre de carbone (CFRP) et de l'aluminium

Liste des sigles et acronymes

CFRP	Polymère renforcé de fibres de carbone
ASC	Agence spatiale canadienne
NMT	Niveau de maturité technologique
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

No AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1	ASTM E595	Standard Test Method for Total Mass Loss and Collected Volatile Condensable Materials from Outgassing in a Vacuum Environment, ASTM International, http://www.astm.org/Standards/E595.htm	Rév. 07	2007
SE-AD-2	ASTM D7291	Standard Test Method for Through-Thickness "Flatwise" Tensile Strength and Elastic Modulus of a Fiber-Reinforced Polymer Matrix Composite Material http://www.astm.org/Standards/D7291.htm	Rév. 07	2007
SE-AD-3	ASTM D5868	Standard Test Method for Lap Shear Adhesion for Fiber Reinforced Plastic (FRP) Bonding http://www.astm.org/Standards/D5868.htm	Rév. 01	2014

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®, ou guide du référentiel des connaissances en gestion de projet)	4 ^e édition.	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour	Rév. A	7 nov. 2008

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
		l'ingénierie des systèmes de l'ASC)		
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices [Méthodes et pratiques de systémique de l'ASC]	Rév. B	10 mars 2010

Le document SE-RD-2 peut être obtenu à partir du site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

Les fichiers SE-RD-3 et SE-RD-4 sont disponibles sur le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

Les structures faites en CFRP sont très résistantes et très légères, en plus d'être très stables sur le plan dimensionnel lors de grands écarts de température. Toutefois, les CFRP forment rarement la totalité de la structure puisqu'elles ne possèdent pas les propriétés clés des structures métalliques (protection contre le rayonnement et bonne conductivité thermique). Ainsi, les structures en CFRP doivent être utilisées de pair avec des parties métalliques et être liées à ces dernières. Le titane est un matériau de choix puisqu'il est stable sur le plan thermique et ce, dans une vaste plage de températures, mais il s'agit d'un matériau couteux et compliqué à fabriquer. L'aluminium est un matériau métallique couramment utilisé à des fins d'application spatiale, mais celui-ci se contracte et se détend plus que les CFRP sous l'influence des écarts de températures. Dans les espaces restreints, par exemple entre les poutres et les panneaux, il n'est pas toujours possible d'utiliser des boulons pour unir les éléments. Ainsi, un liage est parfois préférable. Habituellement, on relie les pièces d'aluminium à des CFRP au moyen d'un liage au titane, et en emplombant les parties additionnelles et les éléments non optimisés. Ce projet vise à développer une technique permettant de lier un CFRP directement sur l'aluminium. Il vise également à spatioqualifier l'adhésif liant afin qu'il puisse être utilisé dans l'espace.

Portée des travaux

L'entrepreneur doit effectuer les travaux nécessaires pour amener le joint de liage Al-CFRP au NMT 5, c'est-à-dire le stade de fabrication de prototypes et de mise à l'essai dans un environnement spatial. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de commencer avec une technologie et un matériau ayant déjà atteint le NMT 3. En d'autres termes, le concept de la technologie utilisée doit avoir été vérifié et validé dans le cadre d'une expérience en laboratoire.

La portée de cet ET peut être divisée en deux phases, et chacune des phases englobe les activités énoncées ci-dessous :

Phase I - Sélection, mise à l'essai et caractérisation des adhésifs et des processus capables de lier les joints CFRP-aluminium types, comme les éléments d'aluminium liés à une plaque de CFRP, les embouts d'aluminium à l'extrémité des poutrelles de CFRP, et les embouts d'aluminium à l'extrémité des mâts en CFRP. Les parties en aluminium et en CFRP doivent avoir déjà été utilisées dans l'espace ou avoir été spatioqualifiées.

- Revue et recherche documentaire

- Identification et analyse des adhésifs et des processus de liaison connexes capables de satisfaire les caractéristiques fonctionnelles et les exigences de rendement définies dans la section suivante.
- Choix des adhésifs appropriés et des processus de liaison adéquats pour la réalisation des travaux visés par le contrat.
- Conception et fabrication d'échantillons aux fins de caractérisation des adhésifs et des processus de liage.
- Conception et fabrication du bâti de soudage pour la mesure et la caractérisation des adhésifs et des processus de liage.
- Essais sous vide afin de vérifier les propriétés de dégazage des adhésifs retenus, conformément à la norme énoncée dans le document SE-AD-1.
- Mesure et caractérisation du pouvoir de liaison et de la rigidité des éléments liants dans la plage de température spécifiée.
- Déterminer des valeurs de stress admissibles B (B-Allowables) pour les liens
- Essais de cyclage thermique afin de vérifier la résistance du lien aux stress thermique
- Analyse des résultats d'essais

Phase II - Développement et qualification d'un prototype de joint lié.

- Conception de trois prototypes de joints CFRP-aluminium pour les configurations suivantes :
 - Élément d'aluminium soudé à une plaque de CFRP. La surface minimale du plan de liage devrait être de 25 mm X 25 mm
 - Embout d'aluminium sur une poutrelle
 - Diamètre intérieur : minimum de 50 mm
 - Épaisseur : 3 mm
 - La longueur du plan de liage doit être de 25 mm maximum
 - Embout d'aluminium à l'extrémité d'un tube
 - Diamètre intérieur : au moins 300 mm.
 - Épaisseur : 6 mm
 - Longueur du plan de liage limitée à 60 mm
- Fabrication ou acquisition de parties du prototype
- Développement d'une procédure de liage pour chacun des prototypes
- Liage des joints de chacun des prototypes
- Essais de vibrations aléatoires pour chaque prototype de joint afin de vérifier la résistance du liage
- Essai sous vide thermique pour chaque prototype de joint afin de vérifier la solidité et la rigidité du liage.
- Analyse des résultats d'essais

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Vous trouverez ci-dessous les caractéristiques fonctionnelles ainsi que les exigences de rendement des joints CFRP-aluminium liés.

- Le choix du matériau utilisé pour fabriquer l'adhésif ou les structures de CFRP doivent s'appuyer sur les lignes directrices de la NASA en la matière, soit un matériau qui présente une perte de masse totale (PMT) inférieure à 1,0 % et une valeur de matière volatile condensable recueillie inférieure à 0,1 %, lorsqu'il est soumis à une pression de $1,3 \times 10^{-4}$ Pa et à une température de

125 +/-1 °C, pendant une période de 24 heures, conformément aux indications du document SE-AD-1.

- L'écart entre la solidité et la rigidité du liage ne devrait pas dépasser 10 % au-dessus de la plage de températures allant de -170 degrés à 160 degrés Celsius.
- L'échantillon de CFRP et les structures prototypes devront être fabriquées d'un matériau ayant déjà été mis à l'épreuve dans l'espace ou qui a été spatioqualifié.
- L'échantillon de CFRP et les structures prototypes doivent être fabriquées au moyen de processus spatioqualifiés ou par des processus pouvant être spatioqualifiés.
- Les liens entre le CFRP et l'aluminium devraient avoir une résistance mécanique supérieure au CFRP, c'est-à-dire que la structure en CFRP devrait céder avant le liage lorsque ces éléments sont soumis à une charge.
- Les échantillons devront être en quantité suffisante pour obtenir des valeurs admissibles B (B-Allowables)
- La zone de liage de l'échantillon doit être au minimum de 25 mm X 25 mm.
- Les essais de cyclage thermique doivent être réalisés conformément aux spécifications suivantes :
 - Nombre de cycles : 10
 - Plage de température : -170 °C à 160 °C
 - Tolérance :
 - Intervalle des températures basses : -10 °C, +0 °C
 - Intervalle des températures élevées : -0 °C, +5 °C
 - Durée minimale d'un plateau : 30 minutes.
 - Taux de variation maximal : 10 °C/min.
 - thermocouple :
 - Au moins un (1) thermocouple doit être fixé aux échantillons de chaque type afin de surveiller et d'enregistrer la température de ceux-ci au cours du cyclage thermique.
 - Les traitements de cyclage thermique doivent être exécutés sous pression ambiante et dans des conditions sèches (l'humidité relative doit être inférieure à 10 %).
- Les propriétés clés des matériaux doivent être vérifiées lors de la mise à l'essai des échantillons. La vérification doit se faire comme suit :
 - Résistance à la tension à plat (ASTM D7291, SE-AD-2)
 - Adhésion sous force de cisaillement (ASTM D5868, SE-AD-3)
- Les valeurs admissibles B (B-Allowables) seront définies pour les forces de tension et de cisaillement
- Les prototypes doivent comprendre les configurations suivantes :
 - Élément d'aluminium lié à un plateau CFRP
 - Embout d'aluminium lié à une poutrelle CFRP
 - Embout d'aluminium lié à un tube CFRP
- Le prototype doit être fabriqué à l'aide du même matériau, du même procédé et des mêmes techniques de préparation des surfaces que ceux utilisés pour les échantillons.
- Des essais doivent être menés sous vide à 5E-5 Tor.
- Les prototypes doivent être soumis à des essais aux vibrations aléatoires La configuration et le niveau d'essai doivent être définis afin de mettre à l'essai le joint à 50 % de la résistance de ce dernier pendant au moins 3 min sur chacun des axes (X, Y et Z)

Échéancier NMT

- NMT de départ : 3
- NMT visé : 5

Missions visées

Les classes de missions particulières qui pourraient bénéficier directement de la technologie du manipulateur et de l'outil comprennent :

- Les missions de satellites (des microsatellites jusqu'aux grands satellites)
- Manipulateurs robotisés;
- Rovers

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer de l'annexe A.

Les livrables sont les suivants :

- Trois prototypes de joints CFRP-aluminium
- Rapport sur l'analyse de l'adhésif et sur le choix de ce dernier
- Rapport de développement et de conception du joint de liage
- Plan d'essai de l'échantillon et rapport d'essai
- Plan d'essai du prototype et rapport d'essai
- Présentation finale

Calendrier et jalons

De développement technologique durera jusqu'à 16 mois.

Tableau 1 - Calendrier et jalons1

Jalons	Description	Début	Achèvement
M1	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat + 2 semaines
M2	Fin de la phase I et livraison de l'analyse et du choix des adhésifs et des procédés de liage	Attribution du contrat	Attribution du contrat + 2 mois
M3	Livraison des résultats d'essais des échantillons	Attribution du contrat + 2 mois	Attribution du contrat + 8 mois
Examen final	Présentation à la réunion de revue finale Mise à l'essai des échantillons Rapport d'essai	Attribution du contrat + 8 mois	Attribution du contrat + 16 mois

Technologie Prioritaire 10 (TP 10)

LIBS/Capteur Raman intégré

LIBS/Capteur Raman intégré

Liste des acronymes

BB	Maquette
ASC	Agence spatiale canadienne
ETC	Éléments technologiques critiques
FOV	Champ de vision
LiRS	LIBS/Capteur Raman
MSL	Laboratoire Scientifique sur Mars
ET	Énoncé des travaux
NPT	Niveau de préparation de la technologie
FRT	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (TRRA) ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/	G	10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC) ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique de l'étude conceptuelle ExCore : Technology Roadmap CSA-ST-RPT-003 Rev A.xlsx ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/	A	Septembre 2012

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®, ou guide du référentiel des connaissances en gestion de projet)	4 ^e édition	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices (Méthodes et pratiques de systémique de l'ASC)	Rév. B	10 mars 2010
SE-S1-RD-1	S.O.	Global Exploration Roadmap (GER) http://www.globalspaceexploration.org/news/2013-08-20		Août 2013

On peut obtenir le document SE-RD-2 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

On peut obtenir les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

Les capteurs chimiques sont un des domaines prioritaires de développement technologique cernés pour l'exploration planétaire dans la dernière Global Exploration Roadmap (GER) (SE-S1-RD-1) publiée par les agences spatiales membres du Groupe international de coordination de l'exploration spatiale (ISECG) en août 2013. La spectroscopie par claquage laser (LIBS) et la spectroscopie Raman sont des outils modernes qui servent à étudier la composition chimique, la minéralogie et la présence de substances organiques. Leur application à l'exploration planétaire a fait l'objet d'études intensives à l'échelle mondiale au cours de la dernière décennie. Cela a mené au développement de l'instrument LIBS ChemCam qui se trouve actuellement à bord du rover Curiosity (Mars Science Laboratory ([MSL])).

Le système LIBS ChemCam du rover MSL sur Mars s'est avéré un des capteurs à distance les plus fructueux et utiles pour l'exploration planétaire de la minéralogie et des ressources in situ basée sur l'analyse des composants élémentaires pertinents. Cependant, il y a une mise en correspondance limitée des données avec d'autres capteurs du MSL. De plus, il n'est pas en mesure de fournir de l'information sur la composition moléculaire des cibles, comme la présence de liaisons moléculaires C-C qui est importante pour l'astrobiologie.

Ce projet portera sur un capteur à induction par laser de prochaine génération qui intègre élégamment la synergie de données de l'analyse élémentaire LIBS et l'analyse Raman de la composition moléculaire pour améliorer les capacités scientifiques en vue de l'exploration des planètes et des astéroïdes.

Un spectromètre Raman fait partie de la mission ExoMars à venir. Le Canada a déjà développé ses capacités dans la création d'un instrument LIBS et Raman portatif aux fins d'études planétaires en milieu analogue. Cet énoncé des travaux (ET) définit l'effort de développement technologique dont découlerait la démonstration d'une maquette fonctionnelle de capteur combinant les capacités des spectroscopies LIBS et Raman. On peut atteindre ce but avec un ajout minime de masse en partageant des ressources techniques clés des capacités Raman et LIBS : laser, spectromètre, télescope optique et principaux éléments électroniques. En fin de compte, cet effort devrait mener à la création d'un instrument hautement miniaturisé capable de captation à courte portée afin de déterminer la composition chimique et la présence de matières organiques dans des échantillons. Dans le cadre de cette étude, on doit aussi évaluer les capacités scientifiques découlant des synergies des données de mesure combinées des spectroscopes LIBS et Raman.

Portée des travaux

La portée du travail décrite ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A.

L'entrepreneur doit effectuer le travail nécessaire pour amener un concept de capteur combiné LIBS/Raman (LiRS) au NMT-4, où la technologie a un cheminement pour devenir spatioqualifiée. Il est très préférable que les technologies LIBS et Raman distinctes soient déjà matures (NMT-4 ou plus) et que les principes sous-jacents de l'instrument LiRS combiné soient déjà bien compris (au moins NMT-2 ou 3), de façon à ce que le projet puisse réellement fournir une technologie NMT-4. La portée de cet ET comprend les activités suivantes :

Tableau 1 : Définition des tâches

Tâche	Description	Niveau d'effort (lignes directrices)
T1 – Gestion	○ Planification et gestion du projet	~10 %
T2 Concept détaillé du LiRS	○ Définition de la mission de référence conceptuelle et des scénarios opérationnels pour le LiRS ○ Élaboration des exigences techniques et des configurations de base ○ Définition des principaux composants	~20 %

	technologiques et de l'architecture du LiRS au niveau du système <ul style="list-style-type: none"> ○ Modélisation de la performance du LiRS ○ Approche de traitement des données, bibliothèques spectrales existantes ○ Préparation du document conceptuel du LiRS 	
T3 – Conception et développement de la maquette	<ul style="list-style-type: none"> ○ Scénario de configuration et de démonstration de la maquette ○ Conception préliminaire et détaillée des sous-systèmes essentiels ○ Acquisition des composants ○ Assemblage de la BB et vérification des fonctionnalités ○ Préparation du document de conception de la BB du LiRS 	~25 %
T4 – Caractérisation de la performance et démonstration de la BB du LiRS	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mise à l'essai des fonctionnalités du spectroscopie LIBS ○ Mise à l'essai des fonctionnalités du spectroscopie Raman ○ Performance du LiRS par rapport à la distance de captation ○ Caractérisation de la captation chimique quantitative et qualitative des cibles pertinentes ○ Démonstration de la captation du LiRS ○ Préparation du rapport de caractérisation de la BB du LiRS 	~35 %
T5 – Exécution de la TRRA	<ul style="list-style-type: none"> ○ Selon la description ci-dessous 	~10 %

L'entrepreneur doit faire une Évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes (TRRA) des technologies clés dont l'utilisation est prévue dans le système proposé, conformément aux exigences des Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation de l'ASC (SE-AD-1), à l'aide des feuilles de travail fournies par l'ASC – la Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC) (SE-AD-4) et la Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) pour chaque ETC – consolider le tout à l'aide de l'Outil de consolidation de données pour l'évaluation de la maturité technologique et des risques (SE-AD-3), et décrire les caractéristiques de performance de la technologie en ce qui a trait aux besoins de la mission visée pour l'environnement donné.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique (FRT), qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission, ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route technologique doit être livrée selon le format de la Feuille de route technologique (SE-AD-5).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Le produit technologique qui découle de ce contrat doit être une maquette de laboratoire fonctionnelle d'un système LiRS, faisant l'objet d'une démonstration en laboratoire. À cette fin, l'entrepreneur doit produire une maquette fonctionnelle (BB) du LiRS définie comme suit :

- maquette fonctionnelle : une maquette fonctionnelle doit être représentative des éléments clés du système du point de vue fonctionnel et électrique. Elle servira à valider une caractéristique nouvelle ou critique de la conception du LiRS et le développement des logiciels. Il n'y a aucune exigence particulière pour la configuration et le contrôle des interfaces.

À la fin du projet, la BB du LiRS doit respecter toutes les exigences suivantes.

[LiRS Obligatoire – 001] Système LIBS : L'instrument doit être capable de fournir des données sur la composition en éléments chimiques d'échantillons géologiques : roches naturelles, régolithe, échantillons de minéraux, glace, régolithe humide ou mélangé de glace, échantillons couverts de poussière. L'instrument doit pouvoir mesurer au moins les éléments suivants : Si, Ca, Ti, Fe, Al, Mg, Mn, Na, K, H, N, O.

[LiRS Obligatoire – 002] Fonctionnalité de minéralogie Raman : L'instrument doit pouvoir fournir des données sur la composition moléculaire minéralogique d'échantillons cibles d'intérêt géologique pertinentes pour l'exploration planétaire : roches naturelles, échantillons minéraux et glace.

[LiRS Obligatoire – 003] Captation organique Raman : L'instrument doit pouvoir détecter, identifier et quantifier des composés organiques peu abondants à la surface de matériaux géologiques complexes.

[LiRS Obligatoire – 004] Limite de détection : La limite minimale de détection en ce qui concerne les éléments doit être de 0,03 % en poids ou mieux.

[LiRS Obligatoire – 005] Limite de détection Raman : La limite minimale de détection des traces de matières organiques à la surface de roches doit être d'au moins 1 ppm au poids.

[LiRS Obligatoire – 006] Capacité d'imagerie : L'instrument LiRS doit offrir une capacité d'imagerie couleur pour donner des images des échantillons.

[LiRS Obligatoire – 007] Résolution d'imagerie : La résolution minimale d'imagerie du LiRS doit être de 0,1 mm. Justification : Les images doivent permettre d'enregistrer l'emplacement du cratère du LIBS, ainsi que la structure du grain des échantillons cibles.

[LiRS Obligatoire – 008] Distance de détection : L'instrument LIBS doit être capable de respecter les spécifications pour un échantillon ciblé se trouvant à une distance comprise entre 0,1 m et 1 m de lui. L'instrument doit permettre un auto-ajustement de l'alignement optique (focalisation) au besoin.

[LiRS Obligatoire – 009] Durée d'exécution : L'ensemble d'instruments doit être capable de faire une séquence de mesures en un même point en moins de 5 minutes.

[LiRS Obligatoire – 010] Démonstration de la BB du LiRS : Les fonctionnalités du LiRS de la BB doivent être démontrées à des représentants de l'ASC à la fin du contrat.

La BB du LiRS doit également tendre vers les objectifs suivants :

[Objectif – LiRS – 011] Volume : Le volume projeté de l'instrument de vol ultérieur devrait être de 15 cm x 15 cm x 20 cm.

[Objectif – LiRS – 012] Masse : La masse projetée de l'instrument de vol ultérieur ne devrait pas dépasser les 10 kg.

[Objectif – LiRS – 013] Alimentation : La pointe de consommation d'électricité projetée de l'instrument de vol ultérieur ne devrait pas dépasser les 15 W.

Vérification

Le Tableau 2 présente les méthodes de vérification qui doivent être utilisées pour vérifier les exigences contenues dans le présent ET. Toutes les exigences doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

- 1) analyse (y compris les simulations);
- 2) examen de la conception;
- 3) démonstration;
- 4) inspection;
- 5) mise à l'essai.

Ces méthodes sont décrites ci-après.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). Dans la mesure du possible, l'analyse devrait être fondée sur des données d'essais, comme : l'extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesuré pour déterminer le rendement en fin de vie ou la combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré. L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou d'elle-même comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) seront sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire servira à prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle définira les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Examen de la conception

Un examen de la conception sera utilisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Démonstration

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Cette forme de vérification s'applique aux exigences « oui/non » qui peuvent être vérifiées à l'aide d'une mesure quelconque. Elle sert à démontrer que l'équipement fonctionne selon les exigences ou à vérifier des caractéristiques comme les facteurs humains, les caractéristiques d'ingénierie, les services, les caractéristiques d'accès, la transportabilité, etc.

Inspection

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

Mise à l'essai

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre va décliner au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Tableau 2- Méthodes de vérification

Besoin	Nom	Méthode	Remarque :
I : Inspection, E : Essai, A : Analyse, D : Démonstration, RC : Revue de la conception			
LiRS Obligatoire – 001	Fonctionnalité du spectroscope LIBS	E	
LiRS Obligatoire – 002	Fonctionnalité de minéralogie du spectroscope Raman	E	
LiRS Obligatoire – 003	Captation d'éléments organiques du spectroscope Raman	E	
LiRS Obligatoire – 004	Limite de détection du spectroscope LIBS	E	
LiRS Obligatoire – 004	Limite de détection du spectroscope Raman	E	
LiRS Obligatoire – 006	Capacité d'imagerie	D	
LiRS Obligatoire – 007	Résolution d'imagerie	E	
LiRS Obligatoire – 008	Distance de captation	E	
LiRS Obligatoire – 009	Temps	D	
LiRS Obligatoire – 010	Démonstration de la BB du LiRS	D	
Objectif – LiRS – 011	Volume	RC, A	
Objectif – LiRS – 012	Masse	RC, A	
Objectif – LiRS – 013	Puissance	RC, A	

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 4 pendant la durée du contrat.

Missions visées

Les cibles de développement en vue de missions futures à la surface de Mars.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

Tableau 3 – Produits à livrer

No	Tâche	Produit à livrer	Échéance
D1	T2	Document de définition du LiRS, y compris : <ul style="list-style-type: none"> ○ Définition de la de la mission de référence conceptuelle et des scénarios opérationnels du LiRS ○ Définition des exigences techniques et des configurations de base; ○ Principaux composants technologiques et architecture du LiRS au niveau du système ○ Modélisation de la performance du LiRS ○ Approche de traitement des données, bibliothèques spectrales existantes 	Ébauche au M2, version finale au M5
D2	T2	Feuilles de calcul du modèle de performance du LiRS, dont : <p style="text-align: center;">le budget de sensibilité du LIBS; le budget de sensibilité du spectroscope Raman.</p>	Ébauche au M2, version finale au M5
D3	T3	Document de conception de la BB du LiRS	Ébauche au M3, version finale au M5
D4	T4	Rapport de caractérisation de la BB du LiRS	Ébauche au M4, version finale au M5
D5	T5	Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	Version finale au M5
D6	T5	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	Version finale au M5

Échéancier et jalons

Malgré les exigences générales de la section A.7.2, les réunions organisées dans le cadre de ce projet devraient avoir lieu dans les locaux de l'entrepreneur ou par téléconférence.

Les réunions de revue suggérées sont présentées au tableau 4, mais l'entrepreneur peut proposer un autre calendrier.

Tableau 4 – Échéancier et jalons

Jalons	Description	Lieu :
M1	Début/réunion de lancement	Entrepreneur/téléconférence
M2	Revue de concept du LiRS	Téléconférence
M3	Revue de la conception de la BB du LiRS	Téléconférence
M4	Revue intérimaire de la BB du LiRS	Entrepreneur
M5	Réunion de revue finale, présentation, démonstration de la BB	Entrepreneur

Technologie Prioritaire 11 (TP 11)

**Détecteur à balayage sur large
fauchée**

Détecteur à balayage sur large fauchée

Liste des acronymes

ASC	Agence spatiale canadienne
AEF	Analyse par éléments finis
FPA	Matrice à plan focal
LWIR	Infrarouge de grande longueur d'onde
MWIR	Infrarouge de moyenne longueur d'onde
NEP	Puissance équivalente au bruit
NIRST	New Infrared Sensor Technology
DR	Document de référence
NMT	Niveau de maturité technologique

Documents de référence

La présente section énumère les documents dans lesquels les soumissionnaires peuvent trouver de l'information supplémentaire. Ces documents ne sont toutefois pas essentiels à l'établissement de leur proposition.

N° DR	Numéro du document	Titre du document	Version	Date
1		L. Ngo Phong, O. Pancrati, L. Marchese, F. Chateauf, Spaceborne linear arrays of 512x3 microbolometers, SPIE vol. 8614, 86140N		Mars 2013
2	GSFC-STD-7000A	GSFC-STD-7000, General environmental verification standard (GEVS) for GSFC flight programs and projects http://everyspec.com/NASA/NASA-GSFC/GSFC-STD/GSFC-STD-7000A_47688/		Avril 2013
3	MIL-STD-810G	US Department of Defense Test Method Standard, Environmental engineering considerations and laboratory tests http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0800-0899/MIL-STD-810G_12306/		Oct. 2008

1. Description de la technologie

Généralement, un faible intervalle de réobservation est essentiel à la détection rapide des changements ou à la surveillance des catastrophes depuis l'espace. Pour ce faire, à bord d'une plateforme unique, il importe de faire appel à des matrices à plan focal (FPA) suffisamment grandes pour obtenir la largeur de fauchée désirée. À l'heure actuelle, des FPA spatioportées non refroidies fonctionnant dans l'infrarouge de grande longueur d'onde (LWIR) assurent une fauchée maximale de 512 pixels. Au-delà de cette valeur, le faible rendement du processus de fabrication est principalement responsable du manque injustifié de disponibilité au moment opportun et du coût excessif des FPA. Afin d'augmenter la largeur de fauchée au-delà de celle qui est définie par la dimension des FPA actuelles, il faut doter plusieurs caméras d'une FPA de 512 pixels, ou lorsque les bilans résultants ne sont pas acceptables, il convient de disposer plusieurs FPA en quinconce sur une FPA de plus grande dimension pour réduire le nombre de caméras à déployer. Dans le cadre de missions de détection multispectrale, où l'on procède à la cosuperposition des données de bande à bande, un nombre trop élevé de caméras peut poser un problème pour l'obtention de la précision d'alignement voulue.

Les travaux actuels portent principalement sur la précision d'alignement et la fiabilité de la FPA en quinconce appliquée à l'observation de la Terre à large fauchée. L'unité FPA utilisée pour la disposition en quinconce, ci-après désignée le composant FPA, est une matrice de microbolomètres non refroidis 512 x 3 pixels. La première version de cette matrice a été mise au point pour l'instrument NIRST embarqué à bord d'Aquarius SAC-D depuis 2011. Les détails techniques de cette matrice sont présentés dans le [DR 1]. Dans le cadre des travaux, un maximum de quatre composants FPA sera disposé en quinconce afin de former une FPA composée de microbolomètres 2 000 x 3 pixels, laquelle sera ensuite intégrée dans un boîtier radiométrique sous vide (ci-après désigné boîtier de détecteur).

Dans le contexte de la détection multispectrale avec cosuperposition des données de bande à bande dans les gammes spectrales MWIR et LWIR, un groupe de caméras couvre la gamme MWIR et l'autre couvre la gamme LWIR. Chaque caméra comprend un boîtier de détecteur. Des filtres d'interférence passe-bande sont intégrés à chacun des boîtiers pour assurer la séparation spectrale sur le terrain (une bande dans la gamme MWIR et deux bandes dans la gamme LWIR), comme l'illustre la figure 1. L'écart d'alignement de pixel à pixel de chaque boîtier doit être contrôlé de manière à ce que la cosuperposition des données de toutes les bandes LWIR soit fournie à toutes les autres bandes MWIR et LWIR avec une précision d'un tiers de pixel. Nous envisageons une application en orbite basse terrestre avec : i) une largeur de fauchée de 3 000 pixels obtenue à l'aide de trois caméras, chacune étant dotée de deux composants FPA ou ii) une largeur de fauchée maximale de 2 000 pixels obtenue à l'aide d'une caméra. La distance d'échantillonnage au sol se situe dans une plage de 300 à 500 m.

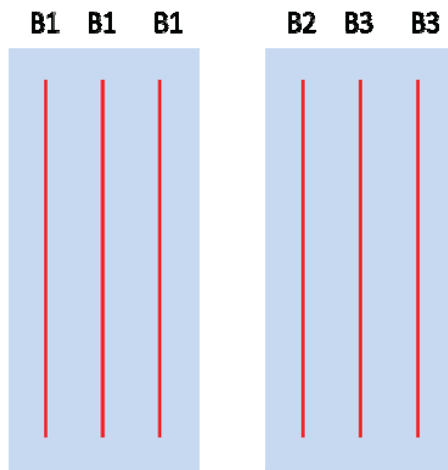


Figure 1 – Caméras MWIR et LWIR avec B1 : 3,5-4,2 μm , B2 : 10,4-11,3 μm et B3 : 11,4-12,3 μm

2. Portée des travaux

La portée des travaux définie ici vient compléter la section A.6 « Description générique des tâches » de l'annexe A.

Principaux objectifs des travaux :

- Élaborer un processus de mise en boîtier permettant d'assembler en quinconce des FPA microbolométriques 512 x 3 pixels avec la reproductibilité et la précision mécanique voulues afin d'obtenir la précision de cosuperposition souhaitée.
- Développer des techniques et des installations de mesure qui autorisent la mesure de précision de pixel à pixel de l'écart d'alignement.
- Évaluer les effets de l'environnement sur l'exploitabilité et le rendement des boîtiers de détecteur MWIR et LWIR qui seront fabriqués.
- Élaborer des techniques d'alignement de précision des boîtiers de détecteur MWIR et LWIR.
- Établir les concepts optiques et optomécaniques des télescopes MWIR et LWIR et déterminer la précision de cosuperposition réalisable grâce à ces concepts.

Le NMT actuel du boîtier de détecteur est de 3. On vise un NMT de 5.

Les tâches à accomplir pour atteindre les objectifs susmentionnés comprennent, entre autres, les suivantes :

[2.1] Établissement de l'organigramme des exigences

- Examiner les exigences techniques.
- Procéder à la conception optique préliminaire et à l'analyse de la tolérance des télescopes MWIR et LWIR.
- Simuler les rendements d'imagerie.
- Analyser la tolérance d'éventuelles combinaisons de FPA en quinconce et de concepts de télescope.
- Évaluer l'impact des exigences de cosuperposition sur les exigences d'alignement de pixel à pixel et les processus de mise en boîtier.
- Évaluer l'impact de l'écart des FPA en quinconce sur la qualité des images et le rendement radiométrique.
- Évaluer l'impact des exigences environnementales sur les processus de mise en boîtier.

[2.2] Fabrication et caractérisation des composants FPA

- Fabriquer des composants FPA MWIR et LWIR qui offrent les caractéristiques et le rendement voulus.
- Caractériser les composants FPA afin de valider leur conformité aux exigences.

[2.3] Conception des boîtiers radiométriques et des interfaces pour les FPA en quinconce

- Concevoir le boîtier radiométrique MWIR et LWIR ainsi que les interfaces optomécaniques et électriques requises pour vérifier l'exploitabilité et le rendement des FPA en quinconce.
- Concevoir le connecteur et le couvercle du boîtier.
- Concevoir le circuit d'acheminement.
- Définir le processus de mise en boîtier et le procédé d'intégration.
- Choisir les composants du boîtier.

[2.4] Élaboration des méthodes d'essai

- Élaborer la méthode d'essai et le plan d'essai correspondant aux fins de la mesure de précision de l'écart d'alignement des FPA disposées en quinconce dans le boîtier de détecteur.
- Établir un plan d'essai aux fins de l'évaluation de l'exploitabilité et du rendement des FPA en quinconce, du refroidisseur thermoélectrique et de la thermistance à l'intérieur du boîtier de détecteur.
- Établir un plan d'essai aux rayonnements à réaliser sur les filtres d'interférence passe-bande.
- Établir un plan d'essai aux vibrations et d'essai de cyclage thermique à réaliser sur les boîtiers de détecteur MWIR et LWIR.
- Définir et mettre en place les installations nécessaires à la réalisation des essais susmentionnés.

- [2.5] Conception et fabrication des guides d'alignement et des gabarits d'essai
- Concevoir et fabriquer les guides d'alignement permettant d'obtenir la précision d'alignement requise des FPA en quinconce.
 - Mettre en place les gabarits d'essai, incluant le matériel électronique de proximité et de commande afin d'évaluer l'exploitabilité et le rendement des boîtiers de détecteur.
 - Concevoir et fabriquer les outils et l'adaptateur nécessaires aux essais environnementaux.
- [2.6] Fabriquer et mettre à l'essai les boîtiers de détecteur MWIR et LWIR
- Fabriquer ou acheter les connecteurs, les couvercles, les filtres passe-bande, les refroidisseurs thermoélectriques, les thermistances et les jauges de pression destinés aux boîtiers.
 - Intégrer l'ensemble FPA en quinconce et les composants susmentionnés dans les boîtiers.
 - Achever la fabrication et les liaisons électriques de deux boîtiers de détecteur, dont l'un pour le MWIR et l'autre pour le LWIR.
 - Effectuer les essais fonctionnels, d'alignement et environnementaux sur les boîtiers fabriqués, comme précisé dans les plans d'essai.
- [2.7] Conception des télescopes
- Calculer le concept optomécanique des barillets d'objectif.
 - Définir l'approche d'alignement optique de chaque objectif dans les barillets.
 - Définir l'approche d'alignement des caméras MWIR et LWIR.
 - Réaliser le concept optique détaillé et le concept optomécanique des télescopes.
 - Procéder à l'analyse de la tolérance détaillée, incluant les simulations thermiques.
 - Réaliser l'AEF structurale et thermique.
 - Produire les documents d'achat des composants de télescope.

3. Produits à livrer

Les produits à livrer énumérés ici s'ajoutent à ceux de la section A.7 « Réunions et produits à livrer prévus au contrat » de l'annexe A.

Produits à livrer suivant doivent être fournis :

- Rapport de conception, comprenant :
 - Dessins de mécanique des ensembles FPA et des boîtiers de détecteur
 - Fiches techniques de tous les composants de boîtier
 - Procédés d'alignement et de fabrication

- Plan d'intégration
- Spécifications des interfaces électriques et mécaniques
- Rapport du plan de mise à l'essai, incluant les détails des méthodes et des installations en place en vue des essais fonctionnels, d'alignement et environnementaux
- Rapport de caractérisation présentant tous les résultats de la caractérisation et des essais réalisés sur les composants et les boîtiers de détecteur
- Rapport de conception de télescope, incluant les détails des concepts optiques et optomécaniques, les procédés d'alignement optique, le procédé d'alignement de caméra à caméra et les résultats de l'AEF structurale et thermique
- Rapport d'achat comprenant les définitions et les spécifications des composants de télescope
- Deux boîtiers de détecteur, l'un couvrant la bande MWIR d'intérêt et l'autre les deux bandes LWIR d'intérêt
- Tout autre document, matériel, code et donnée générés pendant les travaux

4. Caractéristiques et exigences en matière de rendement (REQ, pour Requirements)

- REQ 01. La dimension du composant FPA doit être égale ou supérieure à 512 x 3.
- REQ 02. L'élément du pixel sensible à la chaleur doit être un microbolomètre résistif non refroidi.
- REQ 03. L'unité pixel doit être composée de pixels actifs et de référence.
- REQ 04. L'intervalle latéral de chaque pixel doit être inférieur à 40 µm.
- REQ 05. Le taux de remplissage du composant FPA doit être supérieur à 90 %.
- REQ 06. Le circuit électronique de lecture du composant FPA et des FPA en quinconce doit permettre la lecture simultanée de tous les pixels pendant des périodes de balayage pouvant aller jusqu'à 140 ms.
- REQ 07. Le circuit électronique de lecture du composant FPA doit prévoir un mode « d'intégration au moment de la lecture ».
- REQ 08. La sortie de pixels doit être numérisée à au moins 14 bits.
- REQ 09. La réponse spectrale des pixels dans la bande MWIR devrait être telle que la sensibilité dans chaque longueur d'onde soit supérieure à 85 % de la sensibilité maximale dans cette bande.
- REQ 10. La réponse spectrale des pixels dans la bande LWIR devrait être telle que la sensibilité dans chaque longueur d'onde soit supérieure à 85 % de la sensibilité maximale dans cette bande.
- REQ 11. Dans les conditions nominales d'exploitation, la puissance équivalente au bruit (NEP) de chaque pixel exploitable du composant FPA devrait être inférieure à 100 pW et doit être inférieure à 200 pW dans les longueurs d'onde MWIR.
- REQ 12. Dans les conditions nominales d'exploitation, la NEP de chaque pixel exploitable du composant FPA devrait être inférieure à 100 pW et doit être inférieure à 200 pW dans les longueurs d'onde LWIR.

- REQ 13. Dans les conditions nominales d'exploitation, le temps de réponse de chaque pixel exploitable du composant FPA devrait être inférieur à 15 ms et doit être inférieur à 30 ms.
- REQ 14. Les composants FPA doivent être disposés en quinconce de manière à produire des FPA allant jusqu'à 3 x 2 000 microbolomètres.
- REQ 15. L'exploitabilité de chaque ligne d'ensemble FPA en quinconce doit être supérieure à 98 %. Un pixel non exploitable se dit de tout pixel court, ouvert et ayant une NEP supérieure à 200 pW ou un temps de réponse supérieur à 30 ms. Les mauvais pixels doivent être repérés.
- REQ 16. L'alignement de pixel à pixel de l'ensemble FPA en quinconce doit assurer que la cosuperposition de toutes les bandes LWIR soit possible pour toutes les autres bandes MWIR et LWIR avec une précision d'un tiers de pixel.
- REQ 17. Le boîtier de détecteur doit encapsuler au moins les composants suivants : i) ensemble FPA en quinconce, ii) filtre d'interférence passe-bande, iii) refroidisseur thermoélectrique, iv) thermistance, v) circuit d'acheminement, vi) jauge de pression, vii) tube de pompage sous vide et viii) couvercle de boîtier avec joint d'étanchéité pour la mise sous vide dynamique.
- REQ 18. Tous les matériaux utilisés dans la fabrication des composants du boîtier devraient être compatibles au vide et adaptés aux conditions spatiales.
- REQ 19. La température des FPA devrait être contrôlée et stabilisée à une valeur supérieure à 10 mK pour ce qui est des températures du dissipateur de chaleur se situant dans la plage allant de 283 à 291°K.
- REQ 20. La masse de chaque boîtier de détecteur devrait être inférieure à 800 g.
- REQ 21. La consommation d'énergie moyenne de chaque boîtier de détecteur devrait être inférieure à 20 W.
- REQ 22. Le coefficient de transmission du filtre passe-bande devrait être supérieur à 0,9 dans la bande MWIR, allant de 3,5 à 4,2 μm .
- REQ 23. Le coefficient de transmission du filtre passe-bande devrait être supérieur à 0,8 dans la bande LWIR, allant de 10,4 à 11,3 μm (bande LWIR-1).
- REQ 24. Le coefficient de transmission du filtre passe-bande devrait être supérieur à 0,8 dans la bande LWIR, allant de 11,4 à 12,3 μm (bande LWIR-2).
- REQ 25. La transmission hors bande du filtre passe-bande MWIR doit être inférieure à 3 % sur l'ensemble des gammes spectrales allant de 1,5 à 3,5 μm et de 4,2 à 25 μm .
- REQ 26. La transmission hors bande du filtre passe-bande LWIR-1 doit être inférieure à 3 % sur l'ensemble des gammes spectrales allant de 1 à 10,4 μm et de 11,3 à 25 μm .
- REQ 27. La transmission hors bande du filtre passe-bande LWIR-2 doit être inférieure à 3 % sur l'ensemble des gammes spectrales allant de 1 à 11,4 μm et de 12,3 à 25 μm .
- REQ 28. Les matériaux utilisés dans la réalisation des fenêtres LWIR et MWIR ne doivent pas montrer de signes de dégradation du rendement optique lorsqu'ils sont exposés aux éléments suivants : i) protons - 10 krad (Si) (dose totale à l'état stable) et ii) rayons gamma -10 krad (Si) (dose totale à l'état stable).
- REQ 29. Le coefficient de transmission total du télescope MWIR doit être supérieur à 80%.

- REQ 30. Le coefficient de transmission total du télescope LWIR doit être supérieur à 80 %.
- REQ 31. Le nombre f du télescope doit être équivalent ou inférieur à 1,1.
- REQ 32. La température d'exploitation des télescopes et des boîtiers de détecteur doit se situer dans une plage de 283 à 291 °K.
- REQ 33. La température à l'arrêt des télescopes et des boîtiers de détecteur doit se situer dans une plage de 218 à 333 °K.
- REQ 34. Les boîtiers de détecteur doivent résister, sans dégradation d'alignement, de fonctionnalité et d'exploitabilité, à l'essai aux vibrations aléatoires suivant : vibrations aléatoires sur 3 axes, niveau de qualification GEVS de la NASA, 14,1 Grms (voir [DR 2], tableau 2.4-3).
- REQ 35. Les boîtiers de détecteur doivent résister, sans dégradation d'alignement, de fonctionnalité et d'exploitabilité, à l'essai de cyclage thermique suivant : i) MIL-STD-810 G method 501.6 (température élevée) et 502.6 (faible température), ii) Procédure I : stockage de -50 °C à +50 °C, 8 cycles et iii) Procédure II : exploitation de -30 °C à +30 °C, 1 cycle [voir DR 3]. Le temps d'arrêt minimal devrait être d'au moins 4 heures pour chaque plateau.
- REQ 36. Les boîtiers de détecteur doivent fonctionner dans une gamme d'humidité de 20 % à 95 % sans condensation.

Technologie Prioritaire 12 (TP 12)

**Développement d'un système
d'optique d'entrée à champ de
vision large**

Développement d'un système d'optique d'entrée à champ de vision large

Liste des sigles et acronymes

AD :	Document applicable
AIT :	Alignement, intégration et essai
ASC :	Agence spatiale canadienne
CTMD :	Développement et fabrication d'un télescope canadien
FOV :	Champ de vision
FTM :	Fonction de transfert de modulation
GEVS :	Normes générales de vérification environnementale
GSD :	Distance d'échantillonnage au sol
GSE :	Équipement d'appui au sol
LEO :	Orbite basse terrestre
NMT :	Niveau de maturité technologique
NT :	Note technique
RD :	Document de référence
RSA :	Aluminium solidifié rapidement
STOP :	Structurel - Thermique - Optique
SWIR :	Infrarouge de courte longueur d'onde
TMA :	Anastigmat à trois miroirs
TVAC :	Caisson de vide thermique
VNIR :	Du visible au proche infrarouge
WFE :	Erreur sur le front d'onde

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
AD-1	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/	B	14 février 2014

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
AD-2	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité technologique (TRA Assessment Worksheet FR.pdf) ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/;	E	29 juillet 2013
AD-3	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données (TRA_Assessment_Tool FR.xlsm) ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/;	G	Le 10 mars 2014
AD-4	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/;	A	11 mars 2014

Documents de référence

Cette section présente un document qui fournit des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
DR-1	CSA-SMSAT-RD-0013	WaterSat User Requirement Document (en anglais seulement) Agence spatiale canadienne ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/STDP/pub/	Ébauche 0.10	17 oct. 2014

Description de la technologie

Le développement d'un système d'optique d'entrée non sphérique (souvent désigné « télescope ») approprié pour des applications spatiales constitue un défi technologique de taille pour l'observation dans les plages spectrales VNIR et SWIR. À l'heure actuelle, il existe une expertise internationale en matière de conception, de fabrication, d'assemblage et de mise à l'essai d'un télescope. Cette expertise est jumelée à des avancées exclusives en matière de fabrication qui ont permis le développement de miroirs non sphériques à grande ouverture, ce qui a contribué à améliorer le rendement des télescopes. Cette expertise est principalement inexistante au niveau national, où la principale lacune est l'incapacité à fabriquer des miroirs de grande qualité. Bien qu'en général, ils puissent être fabriqués au moyen de plusieurs matériaux, comme du verre, du carbure de silicium ou du béryllium, du point de vue actuel de l'ASC, le principal intérêt est l'aluminium.

La technologie de choix est le tournage à pointe de diamant unique. La faible microplanéité de la surface (sous les 5 nm) et la stabilité thermique et structurelle des miroirs et de l'ensemble constituent le principal problème de cette technique. Enfin, ce développement technologique vise à fournir aux intervenants industriels un accès à l'ASC afin de concevoir, fabriquer, assembler et mettre à l'essai un système d'optique d'entrée approprié pour des applications spatiales d'observation dans le VNIR/SWIR. En ce qui concerne la mise en oeuvre de la technologie actuelle, l'ASC est surtout intéressée par un télescope à grand champ de vision et à ouverture modérée ($\leq 300\text{mm}$) pour des applications hyperspectrales monté sur une plateforme de microsatellite. De plus, l'ASC s'intéresse également à d'autres applications d'OT et d'astronomie spatiale.

Dans l'avenir, nous pourrions avoir besoin de pièces plus petites pour des systèmes d'optique d'entrée de 1m ainsi que d'autres éléments d'optique (par exemple, des miroirs pliables ou des découpeurs d'images). Dans un avenir un peu plus lointain, les développements technologiques pourraient porter sur des miroirs capables d'observer dans le spectre UV (de 150 à 350 nm)

Portée des travaux

La portée du travail décrite ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A.

L'entrepreneur doit réaliser les travaux nécessaires pour amener un concept d'optique d'entrée au NMT 5. Il devra mettre à l'essai et vérifier la maquette dans un environnement pertinent. La portée de cet ET comprend les activités suivantes :

- Planification et gestion de projets
- Ingénierie des systèmes
- Analyse des compromis, mise à l'essai des échantillons et validations
- Conception détaillée, y compris l'analyse thermostructurale, STOP, l'analyse de tolérance et de rayonnement résiduel.
- Ensemble complet d'esquisses aux fins de fabrication
- Déroulement du processus
- Plan d'AIT
- Plan de vérification
- Fabrication des miroirs primaire, secondaire et tertiaire ainsi que du miroir pliable et de leurs structures de soutien.
- Fabrication de l'ensemble de la structure de soutien TMA
- Fabrication de tous les déflecteurs et des fentes requises
- Fabrication du GSE requis
- Assemblage et alignement de la maquette de télescope TMA
- Essai WFE des miroirs individuels à température ambiante et avant et après l'exposition à l'environnement très chaud
- Essai de microplanéité de tous les miroirs
- Essai d'adhérence, d'humidité et de rayonnement du recouvrement des miroirs
- Transmittance totale
- Essai de vibration/de choc et essai préalable et antérieur de rendement, y compris WFE, MTF, FOV et distance focale
- Essai de rendement thermique en caisson TVAC avec simulation réaliste de conditions de limites thermiques
- Fourniture de tous les documents connexes;

L'entrepreneur doit évaluer la maturité des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système proposé ainsi que les risques connexes, conformément aux exigences indiquées dans les documents applicables AD-1 et AD-2, tout en utilisant les documents AD-3 et AD-4. Il doit également décrire les caractéristiques de rendement des technologies du concept en fonction des besoins de la mission et de l'environnement visé.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique, qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route doit également être présentée selon le format du document AD-5.

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

En guise de produit final, l'entrepreneur doit fournir un concept final et une maquette de système d'optique d'entrée à grand champ de vision revêtant la forme d'un télescope TMA entièrement métallique fonctionnel et éprouvé. La liste des exigences obligatoires (lesquelles correspondent aux exigences de la mission d'imageur à peigne hyperspectral WaterSat) est fournie au ci-dessous. L'orbite visée en est une héliosynchrone à 650 km d'altitude.

Paramètres	Valeurs
Intervalle de longueurs d'onde	350-860 nm
FOV	21 x 0,0082 degré
Ouverture de la pupille	~50 mm
F/#	≤2.4
EFL	101.2 mm
Taille de la fente :	37.5x0.015 mm
Télécentricité	≥92 % (<±0.8 ° incidence)
WFE du miroir individuel Dans tout le FOV	≤ 40 nm (rms) à température d'exploitation
WFE totale du télescope Dans tout le FOV	≤ 80 nm (rms) à température d'exploitation et dans des conditions de limite opérationnelle
MTF	≤ 70 % à la fréquence de Nyquist dans tous les champs et toutes les longueurs d'onde
Réflectivité du miroir avec enduit protecteur	≥ 90 % dans toute la plage spectrale
Microplanéité du miroir	≤ 3 nm (rms)

Distorsion	<5 µm
Masse/volume	À déterminer (minimisé)
Température de fonctionnement	10 à 25 °C
Température de survie	-10 à 50 °C
Vibrations, charge et chocs au lancement	Conformément à la GEVS (GEVS (General Environmental Verification Specification) de la NASA

Échéancier NMT

- NMT de départ : 3
- NMT visé : 5

Missions visées

Les classes de missions particulières qui pourraient bénéficier directement de la technologie d'optique d'entrée à grand champ de vision comprennent :

- Mission de microsatellite hyperspectral/multispectral (particulièrement la mission WaterSat)
- CASS/CATS
- PCW
- Missions d'exploration planétaire (rover lunaire ou martien)
- Astronomie spatiale (WFIRST, CASTOR)

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer de l'annexe A.

- Documentation complète de la conception détaillée et notes techniques
- Documentation et notes techniques sur les analyses pertinentes
- Plan de fabrication et organigramme
- Plan d'AIT et organigramme
- Plan de vérification et organigramme
- Documentation et notes techniques en lien avec les résultats d'essai et de vérification
- Maquette complète de TMA
- Fiches d'évaluation de la maturité technologique
- Feuille de travail sur la feuille de route technologique

Technologie Prioritaire 13 (TP 13)

**Survie de rover planétaire et de
ses instruments en
environnement extrême : Survie
pendant la nuit lunaire**

Survie de rover planétaire et de ses instruments en environnement extrême : Survie pendant la nuit lunaire

Liste des sigles et acronymes

DA	Document applicable
ASC	Agence spatiale canadienne
ÉTC	Éléments technologiques critiques
MRC	Mission de référence conceptuelle
MSE	Mobilité de surface pour l'exploration
ExCore	Programme d'exploration de base
GER	Feuille de route mondiale pour l'exploration
ISECG	International Space Exploration Coordination Group
IP	Utilisation des ressources lunaires in situ
LISR	Rover scientifique lunaire avec capacité d'ISRU
SSNRLRP	Stratégie de survie nocturne pour rover lunaire en région polaire
LTOIP	Plateforme lunaire d'ISRU commandée à distance
NASA	National Aeronautics & Space Administration
ROP	Région d'obscurité permanente
DR	Document de référence
RESOLVE	Regolith and Environment Science and Oxygen and Lunar Volatile Extraction
DP	Demande de propositions
TSNR	Technologie de survie nocturne pour rover
RPM	Mission Resource Prospector
LCS	Lacune des connaissances scientifiques
EDT	Énoncé des travaux
PDTS	Programme de développement des technologies spatiales
NMT	Niveau de maturité technologique
FRT	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation de la maturité technologique et des risques
MCV	Matrice de conformité de vérification

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition. On peut obtenir les documents pertinents énumérés ci-dessous à partir de sites FTP (File Transfer Protocol) comme suit : Les documents SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 se trouvent à l'adresse <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/> et le document SE-AD-5 se trouve à l'adresse <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (TRRA)	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC)	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	septembre 2012
SE-S1-AD-1.	CSA-ESM-RD-0001	Rover to Payload Interface Requirements Document (IRD). Remarque : Le IRD est applicable et fait partie intégrante du présent document dans la mesure des exigences spécifiées dans ce document. ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/	C	23 septembre 2010

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide to the Project Management Body of Knowledge (guide du référentiel des connaissances en gestion de projet), Project Management Institute Inc.	4 ^e édition	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices (Méthodes et pratiques d'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. B	10 mars 2010
SE-S1-RD-1.	S.o.	Feuille de route mondiale pour l'exploration (GER) http://www.globalspaceexploration.org/news/2013-08-20		août 2013
SE-S1-RD-2.	ISBN 0-521-33444-6	Lunar Source Book : A User Guide To The Moon (en anglais seulement), Grant H. Heiken, David T. Vaniman Bevan M. French		
SE-S1-RD-3.	NASA-STD-6016	Standard Materials And Processes Requirements For Spacecraft (en anglais seulement)		octobre 2009

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-S1-RD-4.	9F052-12-0307A	2012 Exploration Core Concept Studies for Space Exploration – LTOIP (Études conceptuelles du Programme d'exploration de base (2012) en exploration spatiale - LTOIP) ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/excore-prototyping/pub/	Rév. A	2012
SE-S1-RD-5.	MIL-DTL-38999	Detail Specification Connectors, Electrical, Circular, Miniature, High Density, Quick Disconnect (Bayonet, Threaded, And Breech Coupling), Environment Resistant, Removable Crimp And Hermetic Solder Contacts, General Specification (en anglais seulement) http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-38999L_11330/	L	30 mai 2008

Le document SE-RD-2 peut être obtenu à partir du site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

Les fichiers SE-RD-3 ad SE-RD-4 sont disponibles sur le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

Les agences spatiales membres de l'International Space Coordination Group (ISECG) ont publié la dernière version de la Feuille de route mondiale pour l'exploration (GER) (SE-S1-RD-1) en août 2013. Elle est illustrée à la figure 1. Cette feuille de route spatiale englobe divers objectifs et diverses destinations et priorités, lesquels sont décrits dans le GER. Parmi ces objectifs figurent des destinations telles que la Lune et Mars, notamment leurs régions polaires, soit des milieux très rudes présentant des écarts de températures extrêmes, des radiations, de la poussière fine et des vents violents (sur Mars). À cause de ces défis environnementaux, il est absolument indispensable de découvrir et de faire avancer des technologies clés afin d'arriver à ces destinations et d'y installer une présence robotique, puis une présence humaine durable.

ISECG Mission Scenario

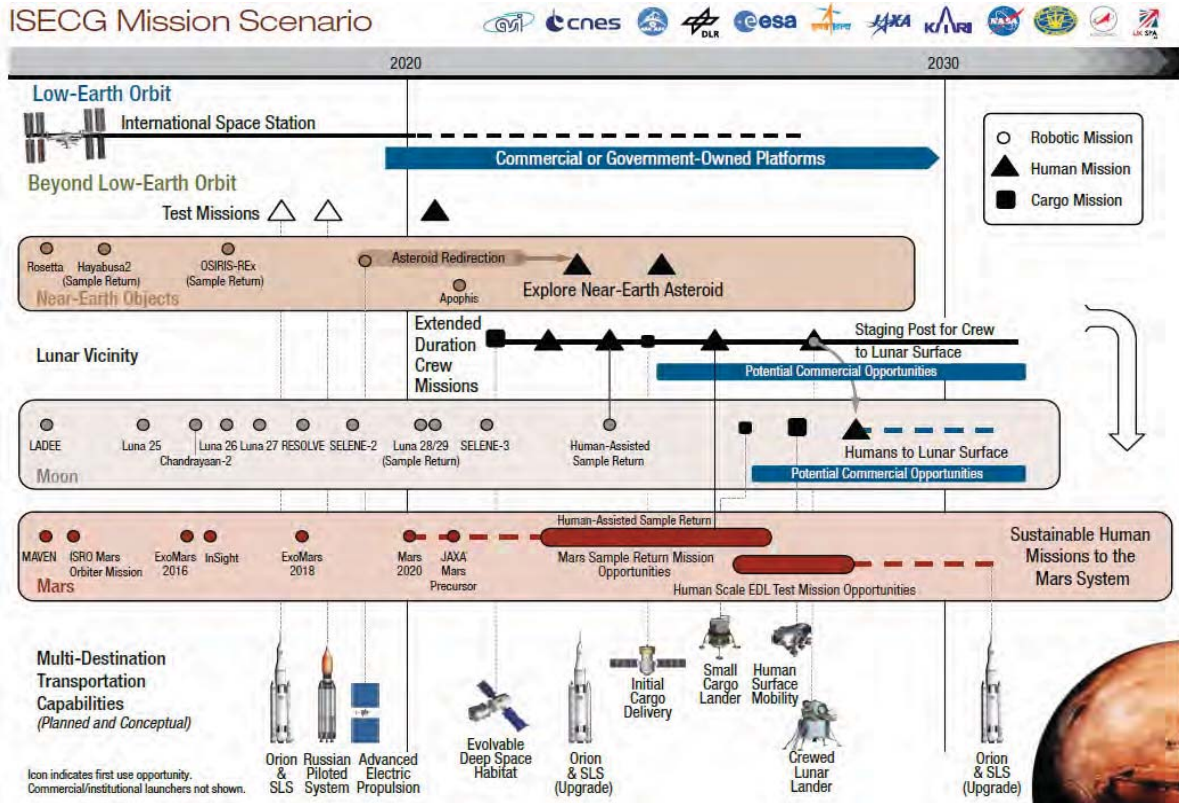


Figure 1 : Feuille de route mondiale pour l'exploration (GER), 2013

La Lune

Les scientifiques et les ingénieurs étudient la Lune depuis de nombreuses années et recherchent en particulier la présence de ressources dans le régolite lunaire. Depuis 1994, des missions effectuées sur la Lune ont permis de détecter de l'hydrogène dans le régolite, aux pôles. La figure 2 fournit un aperçu de ces missions et de leurs principaux résultats.

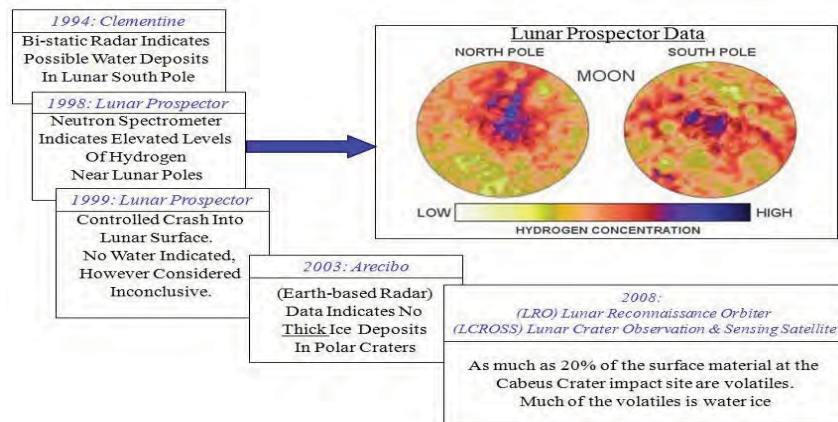


Figure 2 : Missions lunaires à la recherche de substances volatiles

À lumière de ces découvertes, le principal objectif des missions lunaires d'utilisation de ressources in-situ (ISRU) est de vérifier directement sur place si de l'eau ou d'autres composés volatils sont présents sur la Lune, et ce, en prenant des mesures de réalité de terrain à même le régolithe dans les régions plongées en permanence dans la pénombre et autour de celles-ci, puis d'élargir cet objectif en lançant des missions de survie dans la nuit lunaire.

Par le passé, les missions de survie dans la nuit lunaire et les missions de longue durée, notamment le dernier rover chinois Yutu, dépendaient de l'utilisation de matières radioactives. Cette façon de faire offre d'excellents avantages sur le plan de la survie à long terme, car elle fournit l'énergie nécessaire pour maximiser la pérennité des systèmes. Elle présente toutefois de nombreux risques et inconvénients, elle est complexe et elle coûte très cher. Étant donné ces facteurs et la nécessité d'explorer les régions plongées en permanence dans l'obscurité et les pôles lunaires malgré les jours lunaires très courts, il faut trouver des solutions de rechange. Ces solutions s'appliqueraient à des rovers de tailles diverses. Aux fins de cet énoncé des travaux, le rover de référence est de taille moyenne et on démontre la possibilité d'en réduire l'échelle pour l'amener dans la catégorie des petits rovers, comme le décrivent les sections qui suivent. La capacité d'alimentation, la masse et le volume sont les principales barrières lorsqu'on n'utilise pas de matières radioactives comme source de chaleur dans les rovers de taille moyenne et de petite taille.

En plus de l'utilisation de sources de chaleur radioactives, les pièces mobiles et les mécanismes constituent d'autres entraves à la survie pendant la nuit et à la réduction du rejet de chaleur. Le récent rover chinois Yutu et, avant lui, le rover Lunokhod ont démontré que les risques rattachés aux pièces mobiles afin que le rover puisse passer en mode hibernation sont très importants à la réussite de la mission. Ces méthodes ont fait leurs preuves, mais les systèmes mécaniques et les systèmes de capteurs complexes sont sensibles aux pannes et pourraient entraîner une forte dégradation de l'état de fonctionnement du véhicule et même sa perte. Il faut donc envisager d'autres solutions pour pallier ces problèmes et augmenter la fiabilité et la durée de vie de la plateforme de surface lunaire.

Sur Mars

Les missions sur Mars sont également assujetties à de vastes écarts de température, en particulier aux pôles. Ces changements de température ne sont pas aussi extrêmes que sur la Lune, mais les missions sur Mars doivent pouvoir survivre plus longtemps et, comme sur la Lune, le recours à des matières radioactives présente les mêmes risques de complications et, dans l'éventualité où des échantillons de Mars revenaient sur Terre, il serait important de perfectionner la technologie pour que l'usage des technologies à base de matières radioactives soit abandonné. Cet EDT met l'accent sur la Lune, mais la technologie proposée doit pouvoir être envisagée pour Mars à titre de destination de l'avenir.

Portée des travaux

La portée des travaux décrite dans ce document s'ajoute à la Description générique des tâches de la section A.6 de l'annexe A. Elle consiste à livrer un prototype de technologie de survie nocturne de rover, vérifié en laboratoire représentatif d'un environnement lunaire afin qu'un rover planétaire et les instruments qu'il transportera à son bord puissent survivre aux conditions environnementales extrêmes

de la nuit lunaire d'après les exigences et les références exprimées dans cet EDT, notamment :

- a. La création d'un concept détaillé de système thermique permettant au rover et à ses systèmes auxiliaires essentiels, ainsi qu'à l'équipement fixé au mât et à la série d'instruments embarqués dans le caisson pour charge utile, de survivre à une nuit lunaire en milieu polaire sans aucune forme de chauffage radioactif.
- b. L'étude des différentes options de conception doit être présentée par analyse thermique de haut niveau et comparer les risques potentiels et les défis, notamment les répercussions sur le régolite lunaire. Elle doit recommander au moins une conception en fonction des technologies et des systèmes essentiels à développer.
- c. La conception proposée doit être justifiée par analyse thermique complète, par modélisation et par la validation en laboratoire.
- d. La conception doit être mise en œuvre sous forme de prototype fonctionnel. Le prototype peut être une solution intégrée de contrôle thermique entièrement nouvelle ou mettre l'accent sur des éléments centraux qui seront accompagnés de solutions plus traditionnelles qui les feront fonctionner.
- e. Les essais et la démonstration du prototype se feront en laboratoire dans un environnement rappeler celui de la lune, avec simulation de l'exposition aux températures et au régolite lunaires.
- f. Feuille de route de NMT de vol pour tous les aspects de cette conception.

En plus des exigences ci-dessus, l'entrepreneur doit procéder à l'évaluation de la maturité des technologies et des risques connexes (TRRA) des technologies clés qu'on compte utiliser dans le système proposé conformément aux exigences des Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation (SE-AD-1), en utilisant les fiches fournies par l'ASC, soit la Critical Technologies Elements (CTE) Identification Criteria Worksheet (SE-AD-4) (en anglais seulement) et la Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) pour chaque CTE, et préparer une synthèse à l'aide de l'Outil de consolidation de données d'évaluation de la maturité technologique et des risques (SE-AD-3). L'entrepreneur doit aussi décrire les caractéristiques de rendement de la technologie par rapport aux besoins de la mission visée et dans l'environnement prévu.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé Feuille de route technologique, qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La Feuille de route technologique doit également être présentée selon le format du document SE-AD-5 (Feuille de route technologique).

L'objectif est de comprendre pleinement où nous en sommes technologiquement par rapport à la création d'un tel système et d'avoir une idée du cheminement technologique requis jusqu'à la spatioqualification, ses différentes étapes et les coûts et échéancier de mise en œuvre. Le but recherché est d'appliquer ultérieurement la stratégie à un rover scientifique lunaire avec capacité d'ISRU (LISR).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Les paragraphes suivants traitent de la configuration générique prévue, à utiliser comme ligne directrice pour ce contrat, ainsi que des considérations fondamentales et des exigences spécifiques.

Aperçu du concept

En 2012, les responsables du programme ExCore ont lancé une DP (SE-S1-AD-3) visant l'étude de concepts d'une mission lunaire. Cette DP donnait suite à des activités antérieures de prototypage de NMT 4 et à des activités de déploiement pertinentes aux missions de rovers lunaires scientifiques et d'ISRU. Les exigences énoncées dans le présent contrat s'appuient sur ces activités antérieures et sur les concepts qui ont été élaborés sous forme de lignes directrices.

Une des missions qu'on envisage comme minimum est une mission dans le cadre de laquelle un rover exploiterait une série d'instruments au pôle Sud ou au pôle Nord de la Lune pendant une période pouvant aller au moins de sept à quatorze jours. Si on pouvait prolonger cette mission ou une mission subséquente au-delà de ce nombre de jours et survivre pendant les nuits lunaires, cela marquerait une étape importante vers la capacité ISRU et la recherche scientifique de longue durée sur la Lune. La figure 3 montre une représentation imaginée d'un rover lunaire et de ses charges utiles; il est évolutif et peut être utilisé pour une mission de longue durée ou une future mission de survie nocturne aux conditions lunaires. Le rover scientifique lunaire avec capacité d'ISRU (LISR) est composé d'un châssis, d'un train de transmission, d'une série de capteurs et d'appareils de communication et il transporte un ensemble central de charges utiles et d'instruments scientifiques complémentaires.

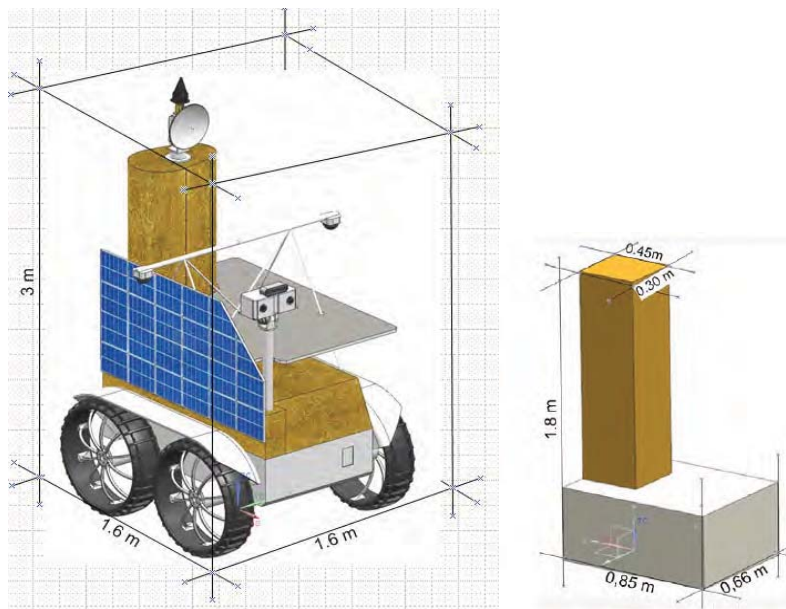


Figure 3 : Représentation de concept de LISR et de ses charges utiles

Les exigences du LISR sont les suivantes. Le document SE-S1-RD-4 contient de l'information détaillée et des renseignements connexes.

- a. Masse du LISR : 160 kg sans ses charges utiles
- b. Masse de l'ensemble de charges utiles : 120 kg

- c. Volume (LISR + charges utiles) : 3 m X 1,6 m X 1,6 m (voir la figure 3)
- d. Volume des charges utiles : 1,8 m X 0,9 m X 0,7 m (voir la figure 3)
- e. Consommation d'énergie des charges utiles : en moyenne 250 W pour l'ensemble
- f. Alimentation et consommation d'énergie du rover : batterie de 3,7 kWh d'après le concept de LTOIP du LISR, panneau solaire fournissant en moyenne 200 W

Cette conception représente un rover de taille moyenne. La version plus petite est considérée comme ayant 60 % de la masse de ce rover. De l'information détaillée sur ces exigences sera fournie dans les sections qui suivent.

Portée

Ce document énonce les exigences relatives au fonctionnement, au rendement et à l'interface de la SSNRLRP.

- La stratégie de ce système de contrôle thermique permettra-t-elle de respecter les budgets de consommation d'énergie, de masse et de volume dans le cadre d'un rover de taille moyenne ou de petite taille?
- Les essais de validation du prototype en laboratoire peuvent-ils démontrer le bon fonctionnement du système et sa conformité avec les exigences du système?
- Déterminer quels sont les écueils potentiels sur le plan de la conception des composants clés et d'un système intégré de rover planétaire destiné à une mission dans les régions polaires de la Lune. Y a-t-il des éléments critiques qui pourraient être un obstacle à d'éventuelles missions?
- Quels sont les défis pour le matériel à des températures très basses, en particulier le matériel des mécanismes de soutien et d'entraînement?
- Le modèle thermique représente-t-il fidèlement sa conception?
- Quels sont les niveaux de NMT des unités clés? NMT 4? Plus faible? Plus élevé?
- Dans l'éventualité où des circuits liquides seraient utilisés, combien de temps faudrait-il compter pour faire fondre les liquides gelés? Il s'agit là d'une contrainte opérationnelle très importante à prendre en compte pour le bon déroulement des missions futures.
- Si on opte pour le découplage thermique des radiateurs thermiques afin de survivre à la nuit lunaire, il faut faire l'essai de l'interrupteur thermique pour montrer la capacité des cycles de recouplage après la longue période de refroidissement pendant la nuit lunaire et de redécouplage après l'exploitation de jour, à la lumière des variations de température qui se manifesteront.
- Si on opte pour un système à déploiement, quels types d'essais doit-on effectuer pour démontrer que le mécanisme peut résister à des cycles répétés d'ouverture/de fermeture malgré la présence de poussières lunaires et de facteurs de dégradation?
- La conception proposée serait-elle en mesure de résister à plus d'un cycle opérationnel, c'est-à-dire à une nuit ou une journée lunaire complète, sans qu'il y ait dégradation ou même perte de la capacité de commande?
- La conception conviendrait-elle à d'autres missions planétaires au-delà de celle de la Lune terrestre?
- Quelles sont les stratégies qui permettront de s'assurer que les capteurs externes, y compris les caméras, continueront de fonctionner? Combien d'énergie additionnelle faudrait-il compter par capteur externe?

- Étant donné la dégradation de la batterie, quelle serait la réduction de la capacité en énergie à plus long terme? Quelles sont les pertes d'énergie dont on peut s'attendre avec chaque cycle lunaire jour-nuit?
- Combien de temps faut-il compter en situation opérationnelle pour réchauffer et recharger le rover à la fin de la nuit quand le jour se lève?
- Existe-t-il une option pratique qui permet d'utiliser un support de capture et de conservation de chaleur, par exemple un matériau à changement de phase, pour conserver la chaleur accumulée pendant la journée et réduire les besoins en énergie pendant la nuit?
- Est-ce qu'il serait pratique de créer un abri pour réduire la perte de chaleur pendant la nuit? Cette option entraînerait-elle la nécessité de créer un trop grand nombre de pièces mobiles additionnelles? Créerait-elle des complications?

Exigences fonctionnelles

OBLIGATOIRE-FNC-01 **Portée** : Le RNEST doit avoir la capacité d'assurer le contrôle thermique du système lunaire avec capacité d'ISRU (LISR) en entier, présenté à la figure 3, notamment ses composants internes, les composants montés à l'extérieur et les charges utiles décrites, dans l'environnement indiqué. Voici les exigences clés du LISR :

- | | |
|---|---|
| a. Masse du LISR : | 160 kg sans les charges utiles |
| b. Masse de l'ensemble des charges utiles : | 120 kg |
| c. Volume (LISR et charges utiles) : | 3 m X 1,6 m X 1,6 m (voir la figure 3) |
| d. Volume des charges utiles : | 1,8 m X 0,9 m X 0,7 m (voir la figure 3) |
| e. Besoin d'énergie des charges utiles : | moyenne de 250 W pour l'ensemble des charges utiles |
| f. Source d'alimentation du rover et besoins en énergie : | batterie de 3,7 kWh basée sur le concept de LISR LTOIP, panneau solaire produisant en moyenne 200 W |

Remarque : Il faut démontrer que la technologie proposée répond aux exigences d'un rover, de l'équipement qu'il transporte et des instruments qui constituent sa charge utile, afin de survivre aux températures extrêmes dans la région des pôles lunaires. La solution doit démontrer comment la technologie proposée atteindra cet objectif. Si un aspect du contrôle thermique dans la technologie proposée comporte une nouveauté, cette innovation et les systèmes qui la soutiennent doivent être traités de façon à offrir une solution de gestion thermique complète.

Exigences physiques

OBLIGATOIRE-PHY-01 **Masse** : La masse du RNEST ne doit pas dépasser 35 % de la masse totale allouée actuellement à ce matériel (LISR et ensemble de charges utiles compris).

Remarque : On vise à réduire au minimum les répercussions du système thermique sur le LISR dans son ensemble et sur les charges utiles. En même temps, il faut envisager l'optimisation de ce système afin qu'il puisse servir à des missions prolongées, en évaluant l'incidence que cette optimisation aurait sur la masse totale du RNEST. Les compromis doivent être documentés et les recommandations doivent être formulées en fonction des avantages qu'elles offrent par rapport à l'incidence sur la masse totale de l'appareil.

OBLIGATOIRE-PHY-02 **Volume :** Le RNEST doit respecter les critères de volume précisés dans la figure 3.

Exigences de rendement

OBLIGATOIRE-PRF-01 **Durée de vie :** Le RNEST doit permettre au LISR et à ses charges utiles de survivre pendant au moins 2 cycles lunaires jour-nuit entiers, aux latitudes où il doit fonctionner et survivre (voir OBLIGATOIRE-ENV-01 et OBLIGATOIRE-ENV-02), et il doit pouvoir réussir au moins une manœuvre de réveil.

JUSTIFICATION : Le LISR doit pouvoir fonctionner pendant le jour, puis survivre pendant la nuit lunaire. L'ensemble de charges utiles pourrait être équipé de ses propres composants de gestion thermique (appareils de chauffage et thermostats par exemple), mais le RNEST doit avoir la capacité de s'assurer que l'équilibre thermique est atteint entre le rover dans son ensemble et ses charges utiles. Le rover et ses charges utiles peuvent être traités séparément, tout comme la documentation des répercussions et des hypothèses.

OBLIGATOIRE-PRF-02 **Évolutif :** Le RNEST doit être évolutif afin d'être compatible avec une classe de rovers plus petits que le LISR (60 % de la masse du LISR).

Remarque : Aux fins de ce contrat, il faut au minimum un prototype de rover de taille moyenne RNEST (voir la figure 3), mais il faut pouvoir démontrer que le système est évolutif et illustrer l'incidence qu'il aurait sur un véhicule de taille plus petite.

OBLIGATOIRE-PRF-03 **Consommation d'énergie pendant le jour :** Pendant la journée lunaire, le RNEST doit pouvoir fonctionner en ne consommant pas plus de 15 % de la consommation d'énergie totale moyenne (LISR et ensemble des charges utiles compris).

OBLIGATOIRE-PRF-04 **Consommation d'énergie pendant la nuit :** Pendant la nuit lunaire, le RNEST doit s'assurer que l'alimentation en énergie est maintenue et suffisante pour redémarrer le LISR et son ensemble de charges utiles au moment du réveil de l'appareil.

Exigences relatives à l'interface

L'objectif des interfaces précisées dans ce document est d'assurer la compatibilité avec les normes actuelles utilisées dans le cadre du programme ExCore établi dans le contexte du projet MSE documenté dans SE-S1-AD-1. Ce document doit servir de catalyseur pour qu'il y ait interface entre les composants et le rover et d'autres charges utiles. À titre de système initial, le RNEST n'aura pas d'interface directe avec un rover ou une autre charge utile, mais on compte l'utiliser plus tard avec l'équipement du programme ExCore. La priorité est de développer le RNEST et de le mettre à l'essai en laboratoire.

OBLIGATOIRE-INT-01 **Plaque d'interface plateforme/charge utile :** Les interfaces mécaniques du RNEST et de son matériel de servitude au sol (GSE) devraient être conformes à l'exigence ESM-IRD-IP-001 du document SE-S1-AD-1.

OBLIGATOIRE-INT-02 **Configuration des boulons de la plaque d'interface :** L'interface mécanique du RNEST et de son matériel de servitude au sol (GSE) devrait être conforme à la configuration des boulons M8 décrite au point ESM-IRD-IP-012 du document SE-S1-AD-1.

OBLIGATOIRE-INT-03 Puissance d'entrée : Le RNEST devrait fonctionner au moyen d'une tension d'alimentation nominale de 28 V c.c. La tension nominale non stabilisée est de 30 V c.c., et elle peut varier entre 22 et 34 V c.c., conformément aux points ESM-IRD-ELE-003, ESM-IRD-ELE-004 et ESM-IRD-ELE-005 du document SE-S1-AD-1E.

Remarque : Il est recommandé que l'alimentation soit fournie par un connecteur mâle 4 pôles avec résistance de terminaison MIL-DTL-38999 (SE-S1-RD-5) D38999/26FC4PN, tel qu'illustré à la figure 4, suivant la disposition des pôles indiquée (réf. ESM-IRD-CON-004 de SE-S1-AD-1) et incluant un serre-câble approprié. Ces exigences visent à assurer la compatibilité éventuelle avec l'équipement standard de l'ASC.

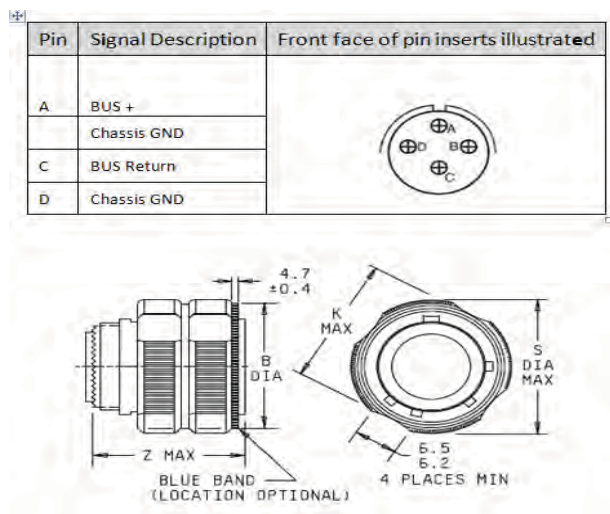


Figure 4 : Connecteur d'alimentation D38999/26 pour relier l'EVO aux prises c.c. de la plateforme

OBLIGATOIRE-INT-04 Interface de données : Le RNEST doit utiliser une adresse IP reconfigurable conforme à la norme réseau Ethernet tel qu'il est exigé et précisé aux points ESM-IRD-COM-002 et ESM-IRD-COM-005 du document SE-S1-AD-1.

Remarque : On recommande que le connecteur d'interface de données, s'il y a lieu, soit conforme à l'exigence ESM-IRD-CON-010 du document SE-S1-AD-1 comme le montre la figure 5. Cette exigence vise à assurer la compatibilité éventuelle avec l'équipement standard de l'ASC.

OBLIGATOIRE-INT-05 Mise à l'essai de l'interface de commande et de télémessure : Tous les signaux de paramétrage de l'interface du RNEST (messages de commande et de télémessure) doivent pouvoir être consultés à l'extérieur du caisson à l'intérieur duquel le système est mis à l'essai.

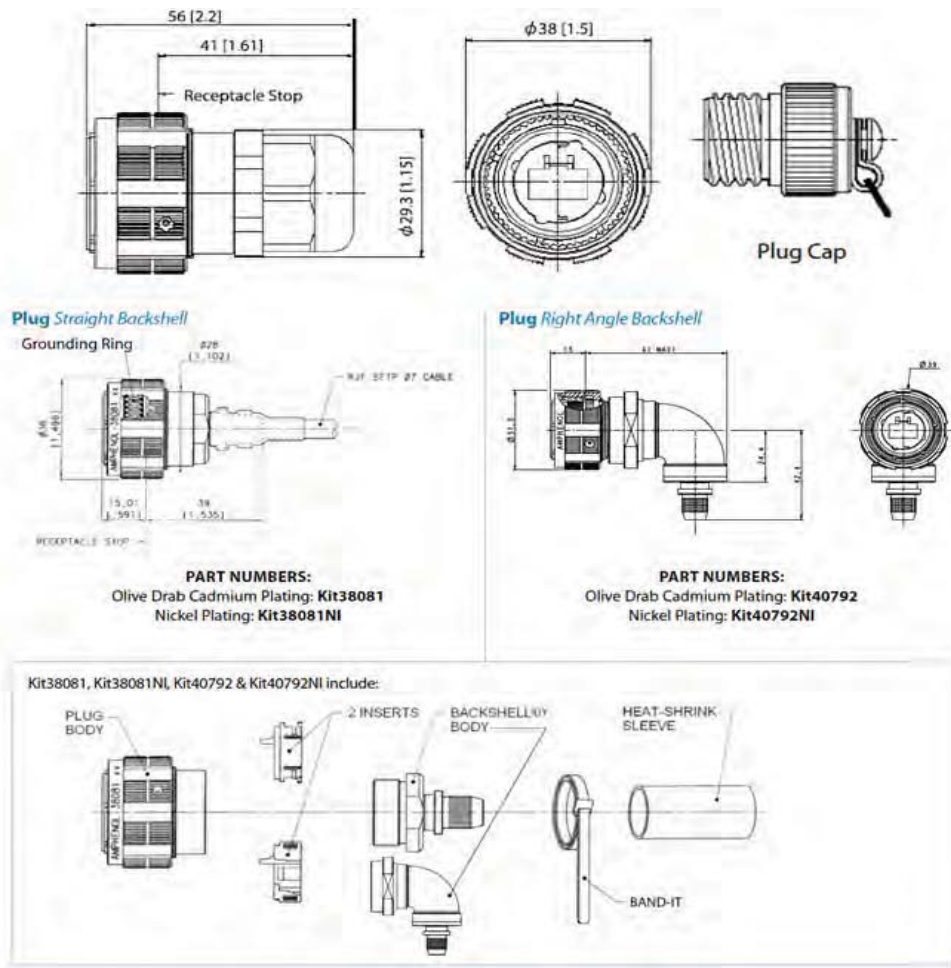


Figure 5 : Connecteur RJFTV de marque Amphenol pour câble flexible, pour port de communication

Exigences en matière de conditions ambiantes

OBLIGATOIRE-ENV-01 Fonctionnement : Le RNEST doit pouvoir faire fonctionner le LISR et son ensemble de charges utiles sur la Lune à des endroits situés à une latitude allant de 60 à 85 degrés.

JUSTIFICATION : Un rover lunaire polaire doit pouvoir fonctionner à ces latitudes. En Kelvin, il s'agit de températures pouvant aller de 40 K à 325 K et même jusqu'à 383 K dans la région équatoriale. Cet environnement présente de grands écarts de température, même d'un côté à l'autre du rover, dont il faut tenir compte.

OBLIGATOIRE-ENV-02 Survie : Le RNEST doit permettre au LISR et à son ensemble de charges utiles de survivre aux nuits lunaires à des endroits situés à une latitude allant de 60 à 85 degrés.

JUSTIFICATION : Un rover lunaire polaire doit pouvoir survivre à ces latitudes sur la Lune pendant la nuit, qui peut durer pendant de nombreux jours terrestres.

OBLIGATOIRE-ENV-03 Inactif la nuit : Le RNEST doit permettre aux sous-systèmes du LISR et de son ensemble de charges utiles qui ne sont pas actifs pendant la nuit de conserver une température leur permettant de survivre pendant la nuit lunaire.

REMARQUE : Les limites de température présumées pour la survie des composants doivent être fournies. On présume que les pièces utilisées sont spatioqualifiées, de calibre militaire (MIL-STD) ou de qualité commerciale et qu'elles sont accompagnées d'une combinaison d'équipement ou d'équipement connexe, ou que la redondance est prévue. Ces décisions de conception doivent être destinées à atteindre les objectifs de la mission en matière de promotion des avancées technologiques et de réduction des coûts.

OBLIGATOIRE-ENV-04 Actif la nuit : Le RNEST doit permettre aux sous-systèmes du LISR et de son ensemble de charges utiles actifs pendant la nuit de conserver une température leur permettant de fonctionner pendant la nuit lunaire.

JUSTIFICATION : Certains sous-systèmes, par exemple l'alimentation, l'avionique minimale nécessaire, etc., peuvent devoir fonctionner pendant la nuit pour que le sous-système thermique puisse fonctionner correctement. Comme point de départ, notons qu'on prévoit que seuls les systèmes de survie de base seront tenus de fonctionner pendant la nuit.

OBLIGATOIRE-ENV-05 Régolite : Le RNEST doit pouvoir résister au bombardement de poussières à particules fines et de régolite artificiel, et à leur accumulation.

JUSTIFICATION : Le régolite lunaire peut avoir les répercussions négatives suivantes :

- 1. Il s'accumule sur les surfaces;*
- 2. Il change/dégrade les propriétés thermooptiques des conceptions de commande thermique;*
- 3. Il envahit les pièces mobiles et bloque/endommage les mécanismes mobiles;*
- 4. Il empêche la fermeture des sas de zones étanches;*
- 5. Il peut amener les capteurs à produire de fausses lectures;*
- 6. Il est persistant et peut être impossible à enlever complètement à certains endroits.*
- 7. Les particules de régolite se manifestent en un vaste éventail de tailles, jusqu'aux poussières de nanoparticules. Le régolite et la poussière peuvent avoir des propriétés magnétiques et porter une charge électrostatique (ils peuvent avoir été chargés par le vent solaire). Les particules sont de forme très différente par rapport à ce qu'on trouve sur la Terre. Elles sont plus allongées et dentelées à cause du manque d'érosion. Pour en savoir plus, consulter par exemple l'ouvrage « Lunar Sourcebook » (SE-S1-RD-2).*

OBLIGATOIRE-ENV-06 Environnement sous vide : Il faut démontrer que le RNEST peut fonctionner dans un environnement sous vide à une pression qui ne dépasse pas les 10^{-4} Torr.

OBLIGATOIRE-ENV-07 Rayonnements solaires : Le RNEST doit respecter les critères et résister aux rayonnements solaires prévus sur la Lune.

CIBLE-ENV-01 Complexité : La conception du RNEST devrait utiliser le moins grand nombre de composants et de mécanismes actifs possible.

JUSTIFICATION : Plus il y a de composants actifs, plus nombreux sont les risques. Grâce à la réduction ou à la suppression de composants, on augmente la confiance à l'égard du système.

CIBLE-ENV-02

Dose totale de rayonnements : Le concept devrait comprendre uniquement des composantes ou des ensembles reconnus pour résister à une dose totale d'au moins 30 krad, à moins que l'on puisse faire appel à une solution de rechange faisant en sorte que le composant ou l'ensemble conçu devienne non critique ou inutile.

Vérification

Le tableau 1 présente les méthodes de vérification qui doivent être utilisées pour vérifier les exigences contenues dans le présent EDT. Toutes les exigences doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

- 1) analyse (y compris les simulations);
- 2) examen de la conception;
- 3) démonstration
- 4) inspection;
- 5) essai.

Ces méthodes sont décrites dans les sous-sections ci-après.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). Dans la mesure du possible, l'analyse devrait être fondée sur des données d'essais, comme l'extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesurée pour déterminer le rendement en fin de vie ou la combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré. L'analyse peut être utilisée avec des essais ou seule comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) doivent être sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire doit prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle doit définir les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Examen de la conception

Un examen de la conception doit être utilisé lorsqu'il est question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Démonstration

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Cette forme de vérification

s'applique aux exigences « oui/non » qui peuvent être vérifiées à l'aide d'une mesure quelconque. Elle sert à démontrer que l'équipement fonctionne selon les exigences ou à vérifier des caractéristiques comme les facteurs humains, les caractéristiques d'ingénierie, les services, les caractéristiques d'accès, la transportabilité, etc.

Inspection

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

Essais

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre déclinera au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Tableau 1 : Méthodes de vérification

Exigence	Nom	Méthode	Remarque
I : Inspection, E : Essai, A : Analyse, D : Démonstration, EC : Examen de la conception			
OBLIGATOIRE-FNC-01	Portée	E, D, EC	Essais Testing as primary method
OBLIGATOIRE-PHY-01	Masse	I	
OBLIGATOIRE-PHY-02	Volume	I	
OBLIGATOIRE-PRF-01	Durée de vie	D, A	
OBLIGATOIRE-PRF-02	Évolutif	A, EC	
OBLIGATOIRE-PRF-03	Consommation d'énergie pendant le jour	E	
OBLIGATOIRE-PRF-04	Consommation d'énergie pendant la nuit	E	
OBLIGATOIRE-INT-01	Plaque d'interface plateforme/charge utile	I	
OBLIGATOIRE-INT-02	Configuration des boulons de la plaque d'interface	I	
OBLIGATOIRE-INT-03	Alimentation d'entrée	D	
OBLIGATOIRE-INT-04	Interface de données	D	
OBLIGATOIRE-INT-05	Mise à l'essai de l'interface de commande et de télémessure	D	
OBLIGATOIRE-ENV-01	Fonctionnement	E, A	Essais en tant que méthode principale

Exigence	Nom	Méthode	Remarque
I : Inspection, E : Essai, A : Analyse, D : Démonstration, EC : Examen de la conception			
OBLIGATOIRE-ENV-02	Survie	E, A	Essais en tant que méthode principale
OBLIGATOIRE-ENV-03	Inactif la nuit	E, A	Essais en tant que méthode principale
OBLIGATOIRE-ENV-04	Actif la nuit	E, A	Essais en tant que méthode principale
OBLIGATOIRE-ENV-05	Régolite	D, I	
OBLIGATOIRE-ENV-06	Environnement de vide	A, E, EC	
OBLIGATOIRE-ENV-07	Rayonnement solaire	D, EC	
TARGET-ENV-01	Complexité	EC	
TARGET-ENV-02	Dose totale de rayonnements	A, EC	

Objectif en matière de NMT

Le NMT à atteindre pour le développement de cette technologie est NMT 4 (l'accent est mis sur les sous-systèmes clés) pendant la durée du contrat.

Missions visées

Les missions ISRU et les missions scientifiques qui mettent l'accent sur la Lune et Mars ont fait leur entrée avec la Feuille de route mondiale pour l'exploration (GER).

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer de l'annexe A.

Tableau 2 – Réalisations attendues

N° de CDRL	Produit livrable	Échéance	Version	Catégorie d'approbation	N° de DED
1.	Présentation à la RL	M1 (KOM) – 1 semaine	Finale	E	Format de l'entrepreneur
2.	Présentation à la réunion d'examen des jalons/d'avancement des travaux	Réunion – 1 semaine	Finale	E	Format de l'entrepreneur
3.	Dossier de données d'examen	M2(SRR) – 2 semaines M3 (DDR) – 2 semaines M4 (TRR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	Finale	A	DED-0009
4.	Rapport d'étape et calendrier détaillé	Le 7 de chaque mois	Finale	A	DED-0004
5.	Ordre du jour de la réunion	Réunions – 2 semaines	Finale	E	DED-0006
6.	Compte rendu	Réunions + 1 semaine	Finale	E	DED-0007

N° de CDRL	Produit livrable	Échéance	Version	Catégorie d'approbation	N° de DED
7.	Registre des mesures de suivi	Réunions + 1 semaine	Finale	E	DED-0008
8.	Rapport de divulgation de BIP et de FIP	M5 (FAR) – 2 semaines	Finale	A	Appendice A-3 de l'ANNEXE A
9.	EIDP	M5 (FAR) – 2 semaines	Finale	A	DED-0010
10.	Dossier de données sur le produit logiciel fini (EIDP logiciel)	M5 (FAR) – 2 semaines	Finale	A	DED-0011
11.	Spécifications du système	M2 (SRR) – 2 semaines M3 (DDR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	VI Finale Mise à jour	A	Format de l'entrepreneur
12.	Formulaire et tableau-synthèse d'évaluation de la maturité technologique et des risques	M3 (DDR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	Ébauche de version finale	A	DED-0217
13.	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	M3 (DDR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	Ébauche de version finale	A	DED-0218
14.	Modèles techniques et analyses	M2 (SRR) – 2 semaines M3 (DDR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	VI Finale Mise à jour	A	DED-0236
15.	Documents de conception	M3 (DDR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	VI Finale	A	DED-0260
16.	VDD du logiciel	M5 (FAR) – 2 semaines	Finale	A	DED-0263
17.	Plan de vérification	M3 (DDR) – 2 semaines M4 (TRR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	Ébauche VI Finale	A	DED-0262
18.	Procédures d'essai	M3 (DDR) – 2 semaines M4 (TRR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	Ébauche VI Mise à jour	A	DED-0280
19.	Rapport d'essai	Fin de l'essai + 1 sem. M5 (FAR) -2 semaines	EI Finale	A	DED-0285
20.	Matrice de conformité de vérification	M2 (SRR) – 2 semaines M3 (DDR) – 2 semaines M4 (TRR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	Ébauche VI Mise à jour Finale	A	DED-0215
21.	Procédures opérationnelles et guide d'utilisation	M4 (TRR) – 2 semaines M5 (FAR) – 2 semaines	VI Finale	A	DED-0301

N° de CDRL	Produit livrable	Échéance	Version	Catégorie d'approbation	N° de DED
22.	Rapport sommaire	M5 (FAR) — 2 semaines	Finale		Section A.7.1.3

Calendrier et jalons

Le développement technologique durera jusqu'à 20 mois.

Tableau 3 – Calendrier et jalons

Jalons	Description	Début	Achèvement
M1 — RL	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat + 2 semaines
M2 — SRR	Revue des exigences relatives au système (SRR) (concept, exigences et mise en œuvre proposée)	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 3 mois
M3 — DDR	Revue de conception détaillée (DDR)	Fin du M1	Attribution du contrat + 5 mois
M4 — TRR	Revue d'aptitude aux essais (TRR)	Fin du M2	Attribution du contrat + 13 mois
M5 — Revue de réception finale	Réunion de revue finale	Attribution du contrat plus 18 mois	Attribution du contrat plus 20 mois

Technologie Prioritaire 14 (TP 14)

Communications optiques LIDAR

Communications optiques LIDAR

Liste des acronymes

ASC	Agence spatiale canadienne
BB	Maquette fonctionnelle
ET	Énoncé des travaux
ETC	Éléments technologiques critiques
FOV	Champ de vision
FRT	Feuille de route technologique
GEO	Orbite géostationnaire
ISS	Station spatiale internationale
LOLA	Lunar Orbiter Laser Altimeter
LOT	Émetteur-récepteur optique LIDAR
NPT	Niveau de préparation de la technologie
TRRA	Évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

On peut obtenir les documents applicables ci-dessous dans les sites FTP (File Transfer Protocol) suivants : SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 se trouvent dans le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>; et SE-AD-5 se trouve dans le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	Le 10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC)	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	Septembre 2012

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide du référentiel des connaissances en gestion de projet, Project Management Institute Incorporated	4 ^e édition	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices [Méthodes et pratiques de systématique de l'ASC]	Rév. B	10 mars 2010
SE-S3-RD-1.	S.O.	Global Exploration Roadmap (GER) http://www.globalspaceexploration.org/news/2013-08-20		Août 2013

On peut obtenir le document AD-2 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>.

On peut obtenir les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 dans le site FPT (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>.

Description de la technologie

La dernière version de la Feuille de route mondiale pour l'exploration (GER) a été publiée récemment par les agences spatiales membres du Groupe international de coordination de l'exploration spatiale (ISECG) (SE-S3-RD-1). Cette feuille de route spatiale définit un certain nombre d'activités préparatoires en vue de l'exploration humaine, ainsi que les besoins techniques essentiels dans différents domaines. Certains aspects des besoins en matière de communication et de navigation sont abordés dans cet Énoncé des travaux (ET), tout particulièrement les communications à grand débit qui permettront les liaisons de données à grand débit entre les éléments exploités dans l'espace. On s'attend à ce que cette capacité soit en demande pour les communications entre les rovers et les atterrisseurs, les rovers et les orbiteurs ou les orbiteurs et la Terre dans le contexte de l'exploration lunaire.

La position de chef de file du Canada dans la technologie LIDAR est très bien connue, grâce aux capteurs créés en vue de missions internationales comme la mission Phoenix Mars, des missions à bord de l'ISS et la mission à venir Osiris-Rex. Cette force pourrait rendre possibles des progrès importants dans un domaine d'application connexe, comme les communications laser pour satellites. Un instrument de liaison laser typique aurait des éléments techniques semblables à ceux d'un LIDAR à balayage, soit : le laser, le détecteur, le système de balayage et des circuits électroniques de traitement des données haute performance. La synergie du double usage de ces capacités a été démontrée récemment au cours de la mission LOLA (Lunar Orbiter Laser Altimeter).

Ce projet vise l'adaptation d'une technologie canadienne de lidar en une application de communications optique sur de longues distances. Cet ET est axé sur la conceptualisation d'architectures de récepteur et d'émetteur compatibles avec les plateformes lidar actuelles et de NMT 5 ou plus. Il vise notamment à démontrer un principe de concept en laboratoire. Ce développement devra adapter des éléments technologiques de lidar existants : laser, détecteur, éléments électroniques de mesure du temps de vol et système de balayage en une nouvelle application double fonction.

Portée des travaux

La portée du travail décrite ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A.

L'entrepreneur doit réaliser les travaux nécessaires pour amener un concept d'émetteur-récepteur à lidar optique (LOT) au NMT 4, étape à laquelle la technologie obtient des possibilités de vol. On s'attend à ce que la technologie LIDAR de laquelle sera inspiré le système de communication sera à l'étape de la maturité (NMT 5 ou plus) et que le concept de LOT sera bien compris (NMT 2 ou 3, au minimum), de sorte que le projet puisse produire une technologie de NMT 4.

À la fin du présent projet, on s'attend à ce que soit validée en laboratoire une maquette du LOT démontrant ses fonctions critiques alors que les fonctions LIDAR du système sont maintenues. Ces fonctions critiques comprennent les éléments suivants :

- (a) modulation du laser (un LIDAR type ne nécessite pas de codage de l'information dans un faisceau laser. Cette capacité doit être démontrée);
- (b) détection optique et décodage de données modulées à divers débits de données et à diverses pertes de signal simulées en raison des grandes distances
- (c) pointage laser par le sous-système de balayage et suivi afin de maintenir un champ de vision stable.

La portée de cet ET comprend les activités suivantes :

Tableau 1 : Définition des tâches

Tâche	Description	Niveau d'effort (ligne directrice)
T1 – Gestion	○ Planification et gestion de projets	~10 %
T2 – Concept du système	○ Définir des scénarios de liaison opérationnelle avec	~20 %

	le LOT <ul style="list-style-type: none"> ○ Définir le concept d'exploitation ○ Définir les exigences techniques ○ Définir les configurations de base du lidar ○ Définir l'architecture du LOT, ses fonctions et ses principaux éléments technologiques ○ Modélisation du rendement du LOT ○ Préparer le document de concept du LOT 	
T3 – Conception et développement de la BB	<ul style="list-style-type: none"> ○ Définir la configuration de la maquette ○ Conception préliminaire et détaillée des sous-systèmes critiques ○ Acquisition des composants ○ Assemblage et vérification du fonctionnement de la maquette ○ Préparer le plan de vérification et de démonstration du LOT ○ Préparer le document de conception de la maquette du LOT 	~25 %
T4 – Caractérisation du rendement et démonstration du LOT	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mettre à l'essai le lidar pour en vérifier le fonctionnement ○ Mettre à l'essai les fonctions d'émission/réception et de modulation ○ Mettre à l'essai le débit binaire de transmission maximum ○ Mettre à l'essai les fonctions de réception et de démodulation ○ Mesure du rapport S/B vs distance de la liaison simulée ○ Essai du débit de réception maximal vs distance de la liaison simulée ○ Mettre à l'essai le sous-système de pointage et de poursuite : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Établissement de la liaison et verrouillage avec une incertitude de pointage ▪ Poursuite du mouvement angulaire relatif d'un récepteur/émetteur et maintien de la liaison ○ Réalisation d'un scénario de balayage et de liaison ○ Préparation du rapport de caractérisation de la maquette du LOT 	~35 %
T5 – Exécution de la TRRA	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tel que décrit ci-dessous. 	~10 %

L'entrepreneur doit faire une évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes (TRRA), conformément aux exigences des Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation (SE-AD-1), en utilisant les formulaires fournis par l'ASC : Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (SE-AD-4) la Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) correspondant à chaque CTE, et un tableau-synthèse de l'évaluation de la maturité technologique et des risques réalisé à l'aide de l'Outil de

consolidation de données (SE-AD-3). Il doit aussi décrire les caractéristiques de rendement de la technologie relativement aux besoins de la mission ciblée dans l'environnement prévu.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique, qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route technologique doit être livrée selon le format de la Feuille de route technologique (SE-AD-5).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Le produit technologique qui découle de ce contrat sera une maquette fonctionnelle d'un LOT, démontré en laboratoire. À cette fin, l'entrepreneur doit produire une maquette fonctionnelle du LOT définie comme suit :

- Maquette fonctionnelle : une maquette fonctionnelle doit être représentative des éléments clés du système du point de vue fonctionnel et électrique. Elle servira à valider une caractéristique nouvelle ou critique de la conception et le développement du LOT. Il n'y a aucune exigence particulière pour la configuration et le contrôle des interfaces.

À la fin du contrat, les exigences suivantes doivent être démontrées.

[Obligatoire – LOT – 001] Configuration de base du LIDAR : Ce développement doit s'appuyer sur un lidar de NMT 5 ou supérieur destiné à un usage dans l'espace ou un environnement analogue. Ce développement devrait être fondé sur un système ayant déjà été exploité dans l'espace, et le concept du LOT devrait s'appuyer sur un instrument existant. Les nouvelles composantes ou les nouveaux sous-systèmes du LOT doivent avoir un NMT de 5 ou plus.

[Obligatoire – LOT – 002] Fonctionnalité du LIDAR : Les fonctions du LIDAR doivent être préservées afin de servir de capteur à lidar capable de produire des cartes altimétriques numériques du milieu entourant le rover. L'instrument doit répondre aux spécifications minimales suivantes :

- Champ de vision du LIDAR : ± 10 deg ou plus;
- Distance de détection du LIDAR : de 2 m ou moins à 100 m ou plus;
- Pouvoir séparateur du LIDAR : 5 cm ou mieux;
- Résolution angulaire du LIDAR : 2 mrad ou moins;
- Fréquence de trames du LIDAR : 0,1 image/seconde ou plus.

[Obligatoire – LOT – 003] Fonctionnalité du LOT : Le LOT doit offrir au moins une liaison optique unidirectionnelle. Dans ce cas, la capacité du LIDAR doit être maintenue du côté de l'émetteur.

[Obligatoire – LOT – 004] Débit de données du LOT : Le débit de données optique doit dépasser les 100 Mb/s.

[Obligatoire – LOT – 005] Portée de la liaison du LOT : La portée minimale de la liaison de la BB doit être de 10 km. On doit faire la démonstration de la portée grâce à une simulation de la perte dans l'espace libre en laboratoire. Il faut faire une analyse approfondie d'un cas de communication à longue portée entre la Lune et la Terre.

[Obligatoire – LOT – 006] Démonstrations de la BB du LOT : Les fonctionnalités du LIDAR et de la liaison optique de la BB doivent être démontrées à des représentants de l'ASC à la fin du contrat. Le

scénario d'une telle démonstration doit inclure un balayage LIDAR par le LOT. Les données cartographiques 3D doivent être acquises, stockées, puis envoyées par le canal de communication optique au moyen de l'émetteur du LOT au récepteur de ce dernier en simulant une longue distance.

[Objectif – LOT – 007] Allocations pour le LOT : Les allocations pour le LOT, comme le volume, la masse et la consommation d'électricité d'un système de vol ultérieur planifier ne devraient pas dépasser les allocations correspondantes du LIDAR de vol de base de plus de 30 %.

Vérification

Le Tableau 2 présente les méthodes de vérification qui doivent être utilisées pour vérifier les exigences contenues dans le présent ET. Toutes les exigences doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

- 1) analyse (y compris les simulations);
- 2) Revue de la conception
- 3) démonstration;
- 4) inspection;
- 5) examen.

Ces méthodes sont décrites ci-après.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). Dans la mesure du possible, l'analyse devrait être fondée sur des données d'essais, comme : l'extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesuré pour déterminer le rendement en fin de vie ou la combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré. L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou d'elle-même comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) seront sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire servira à prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle définira les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Revue de la conception

Un examen de la conception sera utilisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Démonstration

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Cette forme de vérification s'applique aux exigences « oui/non » qui peuvent être vérifiées à l'aide d'une mesure quelconque. Elle sert à démontrer que l'équipement fonctionne selon les exigences ou à vérifier des caractéristiques comme les facteurs humains, les caractéristiques d'ingénierie, les services, les caractéristiques d'accès, la transportabilité, etc.

Inspection

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

Examen

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre va décliner au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Tableau 2 – Méthodes de vérification

Besoin	Nom	Méthode	Remarque
I : Inspection, E : Essai, A : Analyse, D : Démonstration, RC : Revue de la conception			
Obligatoire – LOT – 001	Données de base sur le LIDAR	RC, I	
Obligatoire – LOT – 002	Fonctionnalité du LIDAR	E	
Obligatoire – LOT – 003	Fonctionnalité du LOT	E	
Obligatoire – LOT – 004	Débit du LOT	E	
Obligatoire – LOT – 005	Portée de la liaison du LOT	E	
Obligatoire – LOT – 006	Démonstrations de la BB du LOT	D	
Objectif – LOT – 007	Allocations pour le LOT	RC, A	

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le niveau 4 pendant la durée du contrat.

Missions visées

La planification de la mission en est à l'étape initiale, c'est pourquoi il faut développer cette technologie afin de procéder à l'examen préliminaire des options technologiques en vue de l'identification d'une mission hôte potentielle. Cette technologie pourrait autoriser la réalisation des missions suivantes :

- (a) communications d'un rover à un autre, d'un rover à un orbiteur combinées à un système de cartographie 3D du rover;
- (b) satellites évoluant en formation jumelés à un système LIDAR de métrologie et de positionnement satellite à satellite;

(c) Système de communications et de positionnement intersatellites pour une constellation de satellites évoluant en orbite géostationnaire;

(d) communications dans l'espace lointain combinant un capteur longue distance LIDAR d'un rover ou d'un orbiteur et un émetteur-récepteur entre un engin spatial et la Terre;

(e) capteur de rendez-vous de l'ISS ou d'un autre engin spatial avec une liaison de données optique d'un satellite au sol.

Ce projet devrait utiliser un scénario de communication d'un petit rover à un gros atterrisseur comme données de base.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici s'ajoutent à ceux de la section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

Tableau 3 – réalisations attendues

N°	Tâche	Produit à livrer	Échéance
D1	T2	Document de conception du LOT incluant : Définition du scénario de mission et de liaison Concept d'exploitation Exigences techniques Description de base du LIDAR Concept de l'émetteur Méthode de modulation et de codage Concept de récepteur Concept du sous-système de pointage et de poursuite	M2
D2	T2	Feuilles de calcul sur le modèle de performance du LOT, y compris : Budgets de liaison, débits de données acceptés et prédictions de la portée de la liaison Prédiction du S/R et de la portée du LIDAR	M2
D3	T3	Document de conception de la BB du LOT	M3
D4	T3	Plan de vérification/démonstration Vérification fonctionnelle de la BB Présentation préliminaire sur la BB	M4
D5	T4	Rapport de caractérisation de la BB du LOT	M5
D6	T5	Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	M5
D7	T5	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	M5

Échéancier et jalons

De développement technologique durera jusqu'à 24 mois.

Les revues ci-dessous devraient être planifiées par l'entrepreneur aux jalons suivants.

Tableau 4 – Échéancier et jalons

Jalons	Description	Lieu :
M1	Début/réunion de lancement	Entrepreneur
M2	Revue du concept du LOT	Siège social de l'ASC
M3	Revue de la conception de la BB du LOT	Siège social de l'ASC
M4	Revue intermédiaire de la BB	Entrepreneur
M5	Réunion de revue finale, présentation et démonstration de la BB	Entrepreneur

Technologie Prioritaire 15 (TP 15)

**Ensemble de détecteurs
QEYSSat**

Ensemble de détecteurs QEYSSat

Acronymes

À conf.	À confirmer
BSA	Séparateur de faisceau
CDPU	Unité de contrôle et de traitement des données
EBB	Modèle soigné
GSE	Matériel de servitude au sol
IOA	Ensemble d'optique intégrée
LEO	Orbite basse terrestre
NMT	Niveau de maturité technologique
ORA	Ensemble de récepteur optique
QEYSSat	Quantum EncrYption and Science Satellite
QKDR	Récepteur de distribution quantique de clés
Si-APD	Photodiode à avalanche en silicium
SPD	Détecteur photonique
TEC	Refroidisseur thermoélectrique
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables énumérés ci-dessous peuvent être obtenus des sites File Transfer Protocol (FTP) suivants : SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 se trouvent sur <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/> et SE-AD-5 se trouve sur <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

No AD	Numéro du document	Titre du document	Version	Date
AD-1	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices sur l'évaluation de la maturité technologique et des risques	B	14 fév. 2014
AD-2	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité technologique et des risques (TRRA)	E	29 juil. 2013
AD-3	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
AD-4	CSA-ST-FORM-0003	Fiche des critères d'identification des éléments technologiques critiques	A	11 mars 2014
AD-5	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	Sept. 2012

Documents de référence

Cette section énumère les documents qui présentent de l'information additionnelle utile pour le soumissionnaire, mais qui se ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

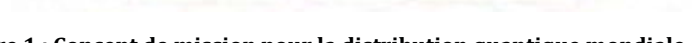
N° RD	Numéro du document	Titre du document	Version	Date
RD-1	QEYS-MD-001	Quantum Encryption and Science Satellite: Mission Objectives (Objectifs de la mission Quantum Encryption and Science Satellite) ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/STDP/pub/	P1.0	27 juil. 2011
RD-2	QKDR-TN-003-IQC_9F063-120711	QKDR Detailed Design Document (en anglais seulement) Disponible sur demande auprès de TPSGC - Entente de non-divulgence	B	22 avril 2014
RD-3	QKDR-TN-001-IQC_9F063-120711	QKDR Requirements Document (en anglais seulement) Disponible sur demande auprès de TPSGC – Entente de non-divulgence	C	28 nov. 2014
RD-4	QKDR-TN-004-IQC_9F063-120711	QKDR Detector Radiation Qualification Document (en anglais seulement) Disponible sur demande auprès de TPSGC – Entente de non-divulgence	A	27 oct. 2014

Description de la technologie

Cette activité vise le développement d'un sous-système essentiel à une charge utile de distribution quantique de clés et nécessaire pour accroître le niveau global de maturité du concept QEYSSat (Quantum EncRyption and Science Satellite) avant le début de la phase suivante du projet.

L'objectif de la mission QEYSSat consiste à faire la démonstration d'une nouvelle technologie servant à distribuer, depuis l'espace, des clés cryptées. La mission visera également la réalisation d'expériences scientifiques dans le domaine de l'intrication quantique sur de longues distances. Le document portant sur les objectifs de la mission [RD-1], qui a été rédigé par l'équipe des utilisateurs principaux, décrit les objectifs et les buts de la mission. Au cours de la phase précédente des travaux, la définition du concept de mission a été établie de manière à atteindre les objectifs des utilisateurs au moyen d'une plateforme de microsatellite.

Le concept de base de la mission QEYSSat est d'envoyer dans l'espace une charge utile de communication quantique en mode de réception seulement afin d'établir des clés cryptées lorsqu'elle est à portée de stations terrestres dédiées. À noter que le satellite émettra également des signaux RF et des signaux optiques de balise à une station terrestre. Les stations terrestres transmettraient des impulsions faiblement cohérentes (IFC) à deux intensités différentes pour appuyer une variante du protocole de cryptage BB84. Faisant appel au protocole de communication quantique, une clé protégée serait établie entre la station terrestre et le satellite. Par la suite, le satellite établirait une deuxième clé avec une autre station dédiée. Servant de nœud fiable, le satellite établirait alors une clé protégée entre les deux stations (figure 1). Le processus pourrait être répété avec plusieurs stations pour établir un réseau mondial de distribution quantique de clés, bien que la



D'abord, le satellite fait l'acquisition du signal de balise de la station terrestre, et vice-versa. La poursuite en



Tel qu'on le conçoit actuellement, le sous-système QKDR se compose de deux sous-ensembles : l'ensemble de récepteur optique (ORA) et l'unité de contrôle et de traitement des données (CDPU). L'ORA comprend un ensemble d'optique intégrée (IOA) et l'ensemble de détecteurs. L'ORA renferme quatre détecteurs de photons ainsi que les séparateurs de faisceau pour la séparation dans les quatre canaux quantiques et une interface avec les éléments optiques de collecte et de direction. La CDPU est l'ordinateur principal de la charge utile. Elle reçoit les signaux de détection des photons dans chacune des polarisations, elle leur applique une étiquette temporelle et elle les enregistre. De plus, elle intercale les étiquettes temporelles et les données GPS requises dans le flux de données enregistrées. Toutes les fonctions nécessaires au traitement de génération des clés et à la gestion des données stockées doivent être exécutées à ce niveau-ci.

Le reste du protocole est exécuté par le sous-système QKDR. Voici les principales étapes de ce processus :

1. La station terrestre choisit au hasard trois paramètres pour chaque quantum : une base pour l'encodage (H/V ou $45^\circ/-45^\circ$), une valeur de bit (0/1) et une intensité laser (μ/μ_{erreur}).
2. À l'intensité laser choisie, la station terrestre encode le photon avec la base choisie et la valeur de bit, puis elle l'envoie au satellite par le canal en espace libre. Parallèlement, la station terrestre enregistre une liste de tous les paramètres pour chaque photon envoyé.
3. La charge utile du satellite reçoit le photon et choisit au hasard une des deux bases (H/V ou $45^\circ/-45^\circ$) pour mesurer le photon. Elle enregistre la base, le résultat de la mesure et le temps d'arrivée du photon (liste des étiquettes temporelles).
4. La station au sol et le satellite procèdent à plusieurs cycles de distribution, et ce, jusqu'à ce que le satellite détecte suffisamment de signaux bruts pour satisfaire aux conditions de sécurité nécessaire.
5. Le satellite envoie ensuite à la station terrestre sa liste d'étiquettes temporelles pour que cette dernière puisse filtrer sa propre liste et retenir uniquement les événements reçus par le satellite. C'est ce qu'on appelle la clé brute.
6. Chaque intensité laser, μ et μ_{erreur} , comporte certaines statistiques sur le nombre de photons. La station terrestre vérifie que ces statistiques correspondent d'assez près aux statistiques théoriques pour assurer la sécurité.
7. Le satellite envoie à la station terrestre une liste des bases utilisées pour chacune de ses mesures. La station terrestre épure sa liste et ne conserve que les résultats indiquant qu'elle a encodé son bit selon la même base utilisée par le satellite. Elle envoie également cette liste indexée au satellite pour qu'il puisse raffiner ses résultats. C'est ce qu'on appelle la clé raffinée.
8. Étant donné que le canal et le système QKD contiendront vraisemblablement des erreurs, la station terrestre et le satellite procèdent à un rapprochement des erreurs de leurs clés raffinées pour corriger ces erreurs.

Tous les échanges visant à établir une clé protégée ont lieu pendant que le satellite est en vue de la station, mais il est également possible d'effectuer ultérieurement le raffinement des clés et les étapes d'amélioration de la protection des renseignements privés, avec une autre station terrestre reliée à la station de communication quantique si cette dernière n'offre pas une liaison de communication RF avec le satellite.

Portée des travaux

La portée des travaux définie ci-après s'ajoute à la Description générique des tâches présentée à la section A.6 de l'annexe A. Les travaux portent sur la livraison d'un modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs destiné au récepteur de distribution quantique de clés (QKDR). Un modèle soigné consiste en du matériel dont le niveau se situe entre la maquette et le modèle techniques. Il est construit avec des composants de qualité commerciale dans une configuration qui se rapproche de celle du modèle de vol. Il s'agit d'une unité entièrement intégrée comprenant les interfaces et configurée de manière à représenter le modèle de vol.

Lors de travaux antérieurs, on a testé les détecteurs monophotoniques proposés dans un environnement de rayonnement représentatif et on a démontré la nécessité de les refroidir de façon à maintenir des niveaux

acceptable de bruit d'obscurité, et de les chauffer pour produire une fonction de recuit afin d'éliminer les effets du rayonnement [RD-4]. L'EBB de l'ensemble de détecteurs doit avoir une configuration forme-usage-fonction qui encapsule les dispositifs de détection dans une enceinte thermique appropriée et qui comprend des cycles actifs de refroidissement/chauffage convenant aux conditions spatiales dans lequel évolue un microsatellite. En outre, l'électronique de commande et l'enceinte contenant les dispositifs doivent pouvoir être exploitées dans des conditions spatiales, et l'EBB doit pouvoir fonctionner à bord d'un ballon stratosphérique ou d'une plateforme suborbitale d'un autre type.

La livraison du modèle soigné doit comprendre les éléments suivants :

a. Revue des exigences :

Cette activité a pour but de finaliser les exigences liées à l'EBB de l'ensemble de détecteurs QKDR. Elle doit porter sur une brève revue de la définition du concept et des exigences présentées dans l'énoncé de travail ainsi que des exigences applicables résultant d'un contrat antérieur du Programme de développement des sciences et de la technologie (PDST) [RD-2, RD-3, RD-4].

Un document sur les exigences de l'EBB devra être préparé et présenté à l'approbation de l'autorité technique. Au besoin, il doit faire une nette distinction entre les exigences liées à l'EBB et celles liées au modèle de vol du microsatellite prévu, indiquer les exigences qui ne sont pas précisées dans l'énoncé de travail et les études antérieures et raffiner les exigences énumérées dans le présent document.

b. Revue de conception préliminaire :

Cette activité a pour but de faire avancer la définition du concept de l'EBB destiné à l'ensemble de détecteurs QKDR jusqu'au niveau préliminaire. Nominale, l'EBB contiendra 4 photodiodes à avalanche en silicium (Si-APD) montées sur un support en L contenant également le matériel électronique des détecteurs connexes. Il est prévu d'intégrer à chaque détecteur un refroidisseur thermoélectrique (TEC) et un capteur de température. La conception préliminaire de la fonctionnalité thermique de l'EBB doit comprendre une analyse des options techniques des différentes stratégies de chauffage/refroidissement et être étayée par une analyse orbitale portant sur l'étude de l'environnement thermique, y compris une analyse des températures atteignables pour le refroidissement passif de l'ensemble de détecteurs. Cette analyse servira à déterminer les températures delta que peut supporter indépendamment l'EBB de l'ensemble de détecteurs. Au cas où il faudrait utiliser l'alimentation électrique du satellite pour le recuit, il importe d'ajouter une analyse de l'énergie requise et des conséquences sur l'ensemble de détecteurs. Il faut également envisager d'ajouter un blindage dédié (enceinte) à l'ensemble de détecteurs pour réduire la dose accumulée prévue pendant la mission QEYSSat.

L'EBB de l'ensemble de détecteurs doit être compatible avec l'ensemble d'optique intégrée (IOA) et l'unité de contrôle et de traitement des données (CDPU) du prototype de QKDR existant [RD-2], et il doit convenir à des démonstrations suborbitales futures. Cette activité doit également comprendre une évaluation préliminaire de la conformité aux exigences préalablement définies.

c. Revue de conception détaillée :

Cette activité a pour but de faire passer la conception préliminaire à une conception détaillée. La conception détaillée doit s'appuyer sur des analyses thermiques et structurales. La conception détaillée incorporera une électronique de commande adaptée à l'exploitation spatiale et, dans la mesure du possible, doit inclure des composants représentatifs de la version de vol. Il est particulièrement important que l'EBB appuie les fonctions de refroidissement et de recuit prévues pour l'exploitation des photodiodes à avalanche en silicium (Si-APD) du QKDR dans un microsatellite en orbite basse, comme c'est le cas pour la mission QEYSSat, et qu'il soit compatible avec l'ensemble d'optique intégrée (IOA) et l'Unité de contrôle et de traitement des données (CDPU) du prototype de QKDR existant [RD-2]. Les fonctionnalités, les composants, les revêtements et les adhésifs doivent tous être compatibles avec l'environnement de vide thermique décrit. Cette activité doit aussi comprendre l'évaluation de la

conformité avec les exigences énoncées antérieurement et l'analyse du cheminement vers la spatioqualification.

d. Plan de validation :

Un plan de validation doit être établi pour assurer la conformité de l'EBB. Ce plan doit comprendre la définition du matériel de servitude au sol (GSE) de nature électronique, mécanique, thermique et optique destiné aux activités d'alignement et d'essai.

e. Approvisionnement, assemblage et intégration :

Cette activité permet de passer de la conception détaillée à un EBB fonctionnel. Les composants doivent être mis à l'essai au besoin et les modèles existants devraient être mis à jour en fonction du rendement des pièces telles que construites.

f. Mise à l'essai dans l'air ambiant :

Les activités de mise à l'essai de l'EBB dans l'air ambiant d'un laboratoire comprendront la validation du rendement, notamment en ce qui concerne le rendement quantique, la stabilité, la saturation et la dépendance à la température du courant d'obscurité pour tous les détecteurs. Cette activité doit aussi comprendre l'intégration de l'EBB de l'ensemble de détecteurs dans l'IOA et la CDP du prototype de QKDR existant [RD-2] pour établir la compatibilité.

g. Mise à l'essai dans l'environnement :

Cette activité englobe la mise à l'essai et la démonstration du modèle soigné dans l'environnement de vide thermique décrit. Cet essai a pour but de vérifier le fonctionnement de l'ensemble de détecteurs sous un vide ainsi que le rendement du système de thermorégulation en microgravité. Les résultats de l'essai de rendement doivent être comparés avec les prédictions des modèles afin d'assurer la validation des modèles et leur mise à jour appropriée.

h. Feuille de route du NMT :

L'entrepreneur doit mener une évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes (TRRA) des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système proposé, conformément aux exigences qui sont indiquées dans les lignes directrices de l'ASC à ce sujet (AD-1). Cette évaluation doit être réalisée au moyen des feuilles de travail fournies par l'ASC – la Fiche des critères d'identification des éléments technologiques critiques (AD-4) et le Fiche d'évaluation de la maturité technologique et des risques (AD-2) pour chaque élément technologique critique – et synthétisée dans l'outil de consolidation de données d'évaluation de la maturité technologique et des risques (AD-3). La TRRA doit décrire les caractéristiques de rendement de la technologie en fonction des besoins de la mission et de l'environnement visés.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique (aussi appelé Feuille de route technologique), lequel doit comprendre une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route doit être présentée selon le format de la Feuille de route technologique (AD-5). L'objectif est de comprendre pleinement où nous en sommes technologiquement par rapport à la création d'un tel système et d'avoir une idée du cheminement technologique requis jusqu'à la spatioqualification, ses différentes étapes et les coûts et échéancier de mise en œuvre.

Caractéristiques fonctionnelles et exigences de rendement

Les paragraphes ci-après portent sur la configuration actuellement prévue de l'ensemble de détecteurs QEYSSat, qui doit servir de ligne directrice pour le présent contrat. On y aborde aussi les exigences préliminaires.

Aperçu du concept

La figure 3 illustre la conception actuellement prévue de l'ensemble de détecteurs du QKDR.



Figure 3 : Ensemble de détecteurs du QKDR.

L'ensemble d'optique intégrée (IOA) envoie aux détecteurs un signal optique au moyen de câbles à fibres optiques. Les quatre câbles à fibres optiques sont branchés à des photodiodes à avalanche en silicium (Si-APD) contenant des capteurs thermiques et des refroidisseurs thermoélectriques (TEC) intégrés. Les détecteurs sont logés sur un support en L contenant les composants électroniques connexes. Il est essentiel que les TEC intégrés à l'ensemble de détecteurs soient en mesure d'atteindre les températures de fonctionnement et de recuit requises pour les Si-APD. Les analyses et essais antérieurs [RD-4] ont montré que les Si-APD doivent fonctionner à des températures aussi basses que -85°C pour atténuer l'augmentation du nombre de coups sombres induite par le rayonnement. Le document RD-4 a aussi montré les avantages de recuire les détecteurs à des températures de 50°C à 80°C , ainsi que les avantages potentiels de placer l'ensemble de détecteurs dans un contenant blindé pour réduire la dose intégrée totale pendant la durée de la mission QEYSSat. On estime actuellement que l'utilisation d'un radiateur permettra de refroidir jusqu'à -35°C le support en L de l'ensemble de détecteurs et que les TEC pourront incorporer cette différence et ainsi atteindre une température d'exploitation des détecteurs de -85°C . Enfin, le document RD-4 contient une analyse préliminaire indiquant que l'alimentation électrique du satellite a servi à faciliter la fonction de recuit dans des situations où les TEC ont été utilisés pour atteindre des températures de recuit de 50°C (seuil) et 80°C (cible).

Exigences :

Les exigences relatives au modèle soigné (EBB) du module optique sont présentées ci-dessous. Ces exigences doivent être confirmées au terme de la **revue des exigences**.

Exigences fonctionnelles

FNC-001 Forme, usage et fonction :

Le modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit correspondre à la future unité de vol microsatellitaire sur les plans de la forme, de l'usage et de la fonction.

Remarque : Cette exigence à niveau élevée peut se diviser en plusieurs exigences de niveau inférieur (p. ex. 4 Si-APD, capteurs thermiques et TEC intégrés, protocole de QKD).

FNC-002 Compatibilité avec l'IOA et la CDPU du QKDR :

Le modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit être compatible avec l'ensemble d'optique intégrée (IOA) et l'unité de contrôle et de traitement des données (CDPU) du prototype de QKDR existant [RD2].

FNC-003 Contrôle :

L'état de fonctionnement et le conditionnement thermique du modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doivent être contrôlés par la CDPU et être compatibles avec la CDPU.

FNC-004 Signaux de sortie :

Les signaux de sortie et les lignes physiques de communication du modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doivent garantir une synchronisation de haute précision [PRF-003] et être compatibles avec la CDPU.

FNC-005 Refroidissement :

Chaque détecteur doit posséder un système de commande thermique actif pour la zone sensible et un capteur thermique pour la zone active.

FNC-006 Température d'exploitation du détecteur :

Le modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit fonctionner à une température d'exploitation de -70 °C (seuil) pour les détecteurs dans l'environnement de vide thermique prévu de la mission QEYSSat et il devrait fonctionner à une température d'exploitation de -85 °C (cible).

Remarque : On s'attend à ce que la température de l'enceinte/du support puisse être fixée à -35 °C (à conf.) par le GSE aux fins de vérification. Cela sera confirmé par l'activation du système et par les analyses connexes.

FNC-007 Température de recuit du détecteur :

Le modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit fonctionner à une température de recuit de 50 °C (seuil) pour les détecteurs et il devrait fonctionner à une température de recuit de 80 °C (cible).

Remarque : Les températures de recuit atteignables seront fondées sur les températures minimales du radiateur pour la mission QEYSSat. On s'attend à ce que l'alimentation électrique du satellite soit utilisée pour appuyer la fonction de recuit. La température de consigne de l'enceinte/du support pour la vérification de la température de recuit des détecteurs sera déterminée en fonction de l'analyse présentée dans le cadre des activités relatives à la conception.

FNC-008 Thermostabilité des détecteurs :

Le modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit présenter une thermostabilité de +/- 0,5 °C (à conf.) pour les détecteurs pendant l'exploitation afin d'assurer une plage de température de -30 °C à -40 °C (à conf.) au niveau de l'enceinte/du support.

Remarque : La plage de température sera fondée sur les prédictions des plages de température de l'enceinte/du support issues des analyses associées aux activités relatives à la conception.

Exigences physiques

PHY-001 Masse :

La masse du modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit être inférieure à 2 kg (seuil) et elle devrait être inférieure à 1 kg (cible).

Remarque : Peut comprendre une enceinte.

PHY-002 Volume :

Le modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit être contenu dans un volume de 150 mm x 150 mm x 50 mm.

- PHY-003 Alimentation :**
Le modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit nécessiter au plus 10 W (seuil) et il devrait nécessiter moins de 8 W (cible) pour faire fonctionner le détecteur et atteindre la température d'exploitation visée dans un environnement thermique représentatif de la mission QEYSSat.

Exigences de rendement

- PRF-001 Coups sombres :**
Le nombre de coups sombres du modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs ne doit pas dépasser 200 par seconde par détecteur, y compris la dégradation due à une radioexposition équivalant à une mission nominale de 1 an (cible) ou 2 ans (seuil).
- PRF-002 Rendement quantique :**
Chaque détecteur doit présenter un rendement quantique > 23 % (seuil) à la longueur d'onde du signal. Le rendement quantique du détecteur devrait être > 80 % (cible) à la longueur d'onde du signal.
- PRF-003 Instabilité de synchronisation :**
L'instabilité de synchronisation de chaque détecteur ne devrait pas dépasser 250 ps.
- PRF-004 Saturation :**
Le niveau de saturation de l'ensemble de détecteurs QKDR pour le comptage de photons doit être > 80 000 coups/sec (seuil). Le niveau de saturation des détecteurs devrait être > 800 000 coups/sec (cible).

Exigences environnementales

- ENV-001 Compatibilité avec le vide :**
Le modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit fonctionner sous un vide de 10^{-5} torrs ou moins.
- ENV-002 Température des détecteurs sous vide :**
Le modèle soigné (EBB) de l'ensemble de détecteurs doit être en mesure d'atteindre les températures de fonctionnement et de recuit visées sous un vide de 10^{-5} torrs ou moins.

Vérification

Le tableau 1 contient la liste des méthodes de vérification qui doivent être utilisées pour vérifier les exigences contenues dans le présent énoncé de travail. Toutes les exigences doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

1. analyse (y compris les simulations);
2. examen de la conception;
3. démonstration;
4. inspection;
5. essais.

Ces méthodes sont décrites ci-après.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). Dans la mesure du possible, l'analyse devrait être fondée sur des données d'essais,

comme : l'extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesuré pour déterminer le rendement en fin de vie ou la combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré. L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou d'elle-même comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) doivent être sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire doit servir à prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle doit définir les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Examen de la conception

Un examen de la conception doit être utilisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Démonstration

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Cette forme de vérification s'applique aux exigences « oui/non » qui peuvent être vérifiées à l'aide d'une mesure quelconque. Elle sert à démontrer que l'équipement fonctionne selon les exigences ou à vérifier des caractéristiques comme les facteurs humains, les caractéristiques d'ingénierie, les services, les caractéristiques d'accès, la transportabilité, etc.

Inspection

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

Essais

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre va décliner au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Tableau 1 : Méthodes de vérification

Exigence	Nom	Méthode*	Remarque
FNC-001	Forme, usage et fonction	EC	
FNC-002	Compatibilité avec l'IOA et la CDPD du QKDR	D	
FNC-003	Contrôle	EC, D	
FNC-004	Signaux de sortie	EC, D	

Exigence	Nom	Méthode*	Remarque
FNC-005	Refroidissement	EC	
FNC-006	Température d'exploitation du détecteur	E	
FNC-007	Température de recuit du détecteur	E	
FNC-008	Thermostabilité des détecteurs	E	
PHY-001	Masse	EC, E	
PHY-002	Volume	EC, E	
PHY-003	Alimentation	E	
PRF-001	Coups sombres	E	
PRF-002	Rendement quantique	E	
PRF-003	Instabilité de synchronisation	E, A	
PRF-004	Saturation	E	
ENV-001	Compatibilité avec le vide	D	
ENV-002	Température des détecteurs sous vide	E	
* I : Inspection, E : Essais, A : Analyse, D : Démonstration, EC : Examen de la conception			

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 5 pendant la durée du contrat.

Missions visées

Mission QEYSSat

Produits à livrer

Les produits à livrer pour cette activité sont énumérés au tableau 2. Ils s'ajoutent à ceux de la section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

Tableau 2 : Produits à livrer

ID	Date d'échéance	Produit à livrer	Type
D1	TIM1	Document sur les exigences de l'EBB	Rapport/document technique
D2	M2	Document de définition préliminaire	Rapport/document technique
D3	M3	Document de définition détaillé	Rapport/document technique
D4	M4	Plan de vérification	Rapport/document technique
D5	M5	Rapport de vérification	Rapport/document technique
D6	Chaque examen et jalon	Matrice de conformité	Rapport/document technique
D7	M5	Rapport administratif	Rapport de renseignements généraux
D8	M2, M3, M5	Modèles et analyses	Données techniques et analyses
D9	M5	Matériel	Produit fini à livrer (logiciels, matériel)
D10	M5	Logiciels	Produit fini à livrer (logiciels, matériel)
D11	M5	Guide de l'utilisateur	Rapport/document technique
D12	M5	Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	Rapport/document technique
D13	M5	Feuille de route technologique	Rapport/document technique

Calendrier et jalons

On prévoit que ce développement technologique prendra 18 mois. Un autre calendrier d'une durée maximale de 24 mois peut être proposé.

Tableau 3 – Calendrier et jalons

Jalons	Description	
M1 - RL	Début/réunion de lancement	
RET - au besoin	Réunions d'échange technique	
RET1	Discussion technique sur les exigences relatives à l'EBB et sur leur compatibilité avec les programmes de vol futurs	
M2 - PDR	Revue de définition primaire (PDR)	
M3 - DDR	Revue de conception détaillée (DDR)	
M4 - TRR	Revue d'aptitude aux essais (TRR)	
M5 - Revue finale	Réunion de revue finale	

Technologie Prioritaire 16 (TP 16)

**Capteurs biologiques pour
installation automatisée de
culture cellulaire**

Capteurs biologiques pour installation automatisée de culture cellulaire

Liste des sigles et acronymes

ASC	Agence spatiale canadienne
CO ₂	Dioxyde de carbone
ADN	Acide désoxyribonucléique
GER	Feuille de route mondiale pour l'exploration
ISS	Station spatiale internationale
ARN	Acide ribonucléique
NMT	Niveau de maturité technologique
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes

Documents applicables

Cette section énonce les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables présentés ci-dessous peuvent être obtenus des sites FTP (protocole de transfert de fichiers) suivants : SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 depuis <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/> ; SE-AD-5 depuis <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	A	Septembre 2012

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Project Management Institute, Incorporated	4 ^e édition	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices [Méthodes et pratiques de systématique de l'ASC]	Rév. B	10 mars 2010
SE-S8-RD-1.	S.O.	Global Exploration Roadmap (GER) http://www.globalspaceexploration.org/news/2013-08-20		Août 2013
SE-S8-RD-2.	S.O.	Human Research Roadmap http://humanresearchroadmap.nasa.gov/		

On peut obtenir le document SE-RD-2 dans le site FTP suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

Les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 peuvent être obtenus du site FTP suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

Le Canada participe activement à l'exploration habitée de l'espace depuis le premier vol spatial de l'astronaute canadien Marc Garneau, en 1984. La nécessité de comprendre comment les êtres humains et les organismes vivants de la Terre s'adaptent à l'environnement très hostile de l'espace a mené à la création du Programme canadien des sciences de la vie dans l'espace. Ce programme appuie la recherche scientifique à bord de la navette spatiale et de la Station spatiale internationale (ISS) visant à comprendre les mécanismes cellulaires et moléculaires impliqués dans les changements qui surviennent en impesanteur ainsi que dans les environnements isolés, confinés et exposés à des niveaux élevés de radiations. Tel que décrit dans la Feuille de route mondiale pour l'exploration (GER) (SE-S8-RD-1), l'ISS a joué un rôle important dans la production de connaissances scientifiques et de certaines des technologies requises pour amener l'être humain un peu plus loin dans l'espace et pour atténuer les risques liés aux vols spatiaux habités. Le Programme canadien des sciences de la vie, qui a pour objectif spécifique de cerner, de caractériser et d'atténuer les risques associés aux vols spatiaux habités, vise

principalement l'atteinte de ces objectifs. Les risques sont nombreux. D'ailleurs, le document de la NASA intitulé « NASA Human Research Roadmap: A Risk Reduction Strategy for Human Space Exploration » le présente sommairement accompagné de pièces justificatives (SE-S8-RD-2).

Une étude Canadienne sur le sujet menée en 2011 a reconnu les besoins ainsi que l'expertise du Canada dans un créneau technologique : les analyses in situ. Les études en sciences de la vie dans l'espace nécessitant de la biologie cellulaire exigent le développement d'une installation non seulement pour maintenir les cellules dans l'environnement spatial, mais aussi pour appuyer l'acquisition de données sur place. Ces données sont essentielles pour surveiller la santé des cellules en croissance ou pour étudier la réponse de celles-ci à l'environnement spatial. Actuellement, l'analyse des données sur la culture cellulaire a lieu après le retour des échantillons dans des laboratoires terrestres. Ces analyses nécessitent de l'équipement spécialisé ainsi que du personnel technique qui ne sont pas autrement disponibles dans les véhicules spatiaux habités ou les satellites à bord desquels des expériences en sciences de la vie dans l'espace sont réalisées. On propose donc d'élaborer des technologies permettant de surveiller automatiquement les conditions du milieu de culture cellulaire et/ou d'évaluer la présence et la concentration de molécules spécifiques ou de mesurer certains paramètres environnementaux afin d'étudier la fonction cellulaire dans l'environnement spatial. La miniaturisation et l'automatisation de ces systèmes analytiques favoriseront l'innovation dans le secteur de l'analyse biologique et ouvrira la voie au transfert de technologies dans le domaine des instruments de recherche.

Portée des travaux

La portée des travaux décrits ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A. Les travaux se dérouleront en trois phases, tel qu'indiqué au tableau ci-dessous.

Tâche	Description	Niveau d'effort (ligne directrice)
1 – Définition de la science	L'entrepreneur doit développer un concept pour la technologie proposée autorisant la prise de mesures	~20 %
2 – Développement du prototype	Un prototype de système analytique doit être fabriqué et être mis à l'essai en laboratoire	~60 %
3 – Démonstration	Le système doit faire l'objet d'une démonstration dans les installations de l'entrepreneur afin de confirmer que toutes les caractéristiques fonctionnelles et les exigences de rendement décrites ci-dessous sont atteintes.	~20 %

L'entrepreneur doit effectuer une évaluation de la maturité des technologies clés que l'on prévoit utiliser dans le système proposé, conformément aux Lignes directrices sur l'évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes (SE-AD-1) en utilisant les formulaires fournis par l'ASC : Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC) (SE-AD-4) et Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) correspondant à chaque CTE. L'entrepreneur devra également se servir du Tableau-synthèse de l'évaluation de la maturité technologique et des risques réalisé à l'aide de l'Outil de consolidation de données (SE-AD-3). Il doit

également décrire les caractéristiques de rendement des technologies du concept en fonction de la mission et de l'environnement visés.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé « Feuille de route technologique », lequel doit comprendre une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La Feuille de route technologique doit être présentée dans le même format que celui de la Feuille de travail sur la feuille de route technologique (SE-AD-5).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

La collecte de données dans une installation de culture cellulaire automatisée peut être réalisée directement à même l'incubateur cellulaire ou à l'aide d'un petit échantillon du milieu de culture. La technologie proposée doit appuyer au moins l'un des objectifs suivants, mais avec un ensemble d'exigences différent :

Objectif n° 1 : Surveiller les conditions de la culture cellulaire. La technologie doit permettre la collecte de données afin d'évaluer l'état de santé des cellules dans le milieu de culture. Cela dictera la fréquence de changement du milieu de culture cellulaire. La priorité sera accordée aux systèmes qui permettront de surveiller plusieurs de ces paramètres (CIBLE).

OBLIGATOIRE-PRF-01 : La technologie doit permettre la collecte de données depuis l'incubateur sans avoir besoin de l'ouvrir ou d'avoir à recueillir des échantillons.

OBLIGATOIRE-PRF-02 : La technologie doit permettre également de surveiller un ou plusieurs des paramètres suivants (les cibles sont fournies à titre de ligne directrice) :

CIBLE-PRF-01 : Acidité du milieu de culture (de 4 à 10 unités de pH, résolution de 0,1 unité)

CIBLE-PRF-02 : Croissance cellulaire (par l'évaluation du nombre de cellules ou de la concentration cellulaire)

CIBLE-PRF-03 : Concentrations d'oxygène dans le milieu de culture (de 15 à 30 %, résolution de 2 %)

CIBLE-PRF-04 : Concentration de CO₂ dans le milieu de culture (de 0 à 10 %, résolution de 1 %)

CIBLE-PRF-05 : Température à l'intérieur de l'incubateur (de 15 à 30 °C, résolution de 1 °C)

Objectif n° 2 : Évaluer la présence et la concentration de molécules spécifiques aux fins d'analyse scientifique. La priorité sera accordée aux systèmes capables de mesurer plusieurs molécules.

OBLIGATOIRE-PRF-03 : L'analyse doit être réalisée au moyen d'un milieu de culture cellulaire (d'une capacité allant de 20 à 500 microlitres).

OBLIGATOIRE-PRF-04 : Le système analytique doit être automatisé.

OBLIGATOIRE-PRF-05 : La technologie doit permettre d'analyser une ou plusieurs des molécules suivantes (les cibles sont indiquées en qualité de lignes directrices) :

CIBLE-PRF-06 : Protéines spécifiques provenant du milieu de culture cellulaire, en utilisant des biopuces à protéines, ELISA ou autres méthodes de quantification des protéines.
Concentrations allant de 50 pg/ml à 10 ng/ml.

CIBLE-PRF-07 : Séquences spécifiques d'acides nucléiques (comme l'ADN, l'ARN ou micro-ARN) à l'aide de sondes ADN/ARN

Exigences générales du système

OBLIGATOIRE-PRF-06 : Le système doit être conçu de manière à ce que des preuves techniques montrent qu'il peut être exploité dans un environnement de microgravité.

OBLIGATOIRE-PRF-07 : Le système doit être conçu de manière à réduire le plus possible la consommation énergétique, le poids et les dimensions de tout système équivalent actuellement utilisé pour des applications terrestres.

Échéancier NMT

Ce développement technologique devra atteindre le NMT 4 pendant la durée du contrat.

À la lumière des projets de nature similaire, on s'attend à ce que la conception, la fabrication et la mise à l'essai d'un prototype nécessitent 2 années.

Missions visées

Expériences à venir en sciences de la vie axée sur la biologie cellulaire.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.6 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

N°	Calendrier	Produit à livrer	Type	N° DID
D1	M1	Présentation à la RL	Document/Rapport technique et de gestion	Format de l'entrepreneur
D2	M2	Liste des paramètres et conception préliminaire	Document de définition préliminaire	DED-0260
D4	Tous les quatre mois	Rapports d'étape trimestriels	Document/Rapport technique et de gestion	DED-0003
D7	Chaque revue et jalon	Compte rendu de réunion	Documents de suivi de gestion et de projet	DED 0007
D8	M2	Document de conception	Document/rapport technique	DED-0260
D9	M3	Prototype fonctionnel et documents de conception	Document/rapport technique et matériel	DED-0260
D10	M4	Présentation de la réunion de revue finale.	Document/rapport technique	Format de l'entrepreneur
D18	M4	Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	Document/rapport technique	DED-0217
D19	M4	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	Document/rapport technique	DED-0218

Échéancier (Jalons)

Ce développement technologique aura une durée maximale de 24 mois.

Tableau 2 – Calendrier et jalons

Jalons	Description	Début	Achèvement
M1 – RL	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat + 2 semaines
Tous les quatre mois	Réunions d'examen de l'avancement des travaux	Attribution du contrat + 4 mois	Fin du contrat
M2	Revue de définition préliminaire (PDR)	Attribution du contrat + 4 mois	Attribution du contrat + 4 mois
M3	Démonstration	Attribution du contrat + 20 mois	Attribution du contrat + 20 mois
M4	Réunion de revue finale	Attribution du contrat + 24 mois	Attribution du contrat + 24 mois

Technologie Prioritaire 17 (TP 17)

**Mécanisme de translation
cryogénique pour les futures
missions d'astronomie spatiale
exploitant l'infrarouge lointain**

Mécanisme de translation cryogénique pour les futures missions d'astronomie spatiale exploitant l'infrarouge lointain

Liste des sigles et acronymes

AIT	Assemblage, intégration et essai
ASC	Agence spatiale canadienne
EB	Maquette fonctionnelle élaborée
FGS-JWST	Détecteur de guidage de précision pour le télescope spatial James Webb
FIR	Infrarouge lointain
FTS	Spectromètre à transformée de Fourier
FTSCU	Unité de commande du spectromètre à transformée de Fourier
FTSM	Mécanisme de balayage du FTS
FPU	Unité de plan focal
EFG	Équipement fourni par le gouvernement
ICU	Unité de contrôle d'instrument
OPD	Différence de chemin optique
PSU	Bloc d'alimentation
SAFARI	Instrument Spica dans l'infrarouge lointain
SMCE	Dispositifs électroniques de contrôle du mécanisme de balayage
SPICA	Télescope spatial infrarouge pour la cosmologie et l'astrophysique
NMT	Niveau de maturité technologique
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes

Documents applicables

Cette section énonce les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables présentés ci-dessous peuvent être obtenus des sites FTP (protocole de transfert de fichiers) suivants : SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 depuis le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>; SE-AD-5 depuis le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC)	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	A	Septembre

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
				2012

Documents de référence

Cette section présente des documents qui contiennent des renseignements additionnels susceptibles d'être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Project Management Institute, Incorporated	4 ^e édition	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices [Méthodes et pratiques de systématique de l'ASC]	Rév. B	10 mars 2010
SE-S7-RD-1.	SRON-SAFARI-SP-2013-003	SAFARI FTS Specification (Spécifications du FTS destiné à l'instrument SAFARI) ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/STDP/pub/	Ébauche 0,33	9 février 2013
SE-S7-RD-2.	SRON-SAFARI-RP-2012-001	Description du concept de l'instrument SAFARI ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/STDP/pub/	Rév. 1	

Le document SE-RD-2 peut être obtenu à partir du site FTP suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>

Les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 peuvent être obtenus du site FTP suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

La prochaine génération de télescopes spatiaux exploitant la plage de l'infrarouge lointain (FIR) utilisera des capteurs de plus en plus sensibles dans ses matrices de grand format. Pour que ces capteurs puissent satisfaire les exigences qui les concernent en matière de limitation du bruit de fond, la charge utile qui les accueillera devra subir un refroidissement poussé, ce qui limitera de façon importante les ressources thermiques de l'instrument. Ces télescopes autoriseront la spectroscopie à transformée de Fourier dans la plage de l'infrarouge lointain à un degré de sensibilité et à une résolution

d'imagerie/spectrale inédits dans un champ de vision large. Il faudra apporter davantage d'améliorations à une nouvelle gamme d'actionneurs cryogéniques à très faible dissipation thermique qui répondront aux exigences strictes des futures missions sur le plan thermique. Ces futures applications imposent des défis technologiques importants sur les concepts existants de spectromètres à transformée de Fourier (FTS). Dans un avenir plus ou moins rapproché, les FTS seront exploités dans les confins de l'espace, ce qui nécessitera des capacités de cryogénie.

Ce développement technologique vise à concevoir un mécanisme de translation cryogénique qui sera utilisé sur le miroir à balayage d'un FTS. Le système reposera sur une technologie de palier magnétique autorisant de grands déplacements ainsi que sur un système de métrologie connexe visant à mesurer avec précision le déplacement en question. Les mécanismes de translation cryogéniques existants sont fondés sur des paliers à pivot ayant une amplitude limitée. La prochaine génération de missions d'astronomie spatiale nécessitera des déplacements de plus grande amplitude tout en maintenant une faible dissipation thermique et une grande stabilité, dans une plage de température aussi basse que 4 K.

Portée des travaux

L'ET énonce les exigences relatives à l'analyse, à la conception, au développement, à la fabrication et à la mise à l'essai d'un mécanisme de translation cryogénique reposant sur une technologie de palier magnétique qui servira à actionner le mécanisme de balayage du miroir du FTS. Ce développement technologique englobe l'intégration de paliers magnétiques et d'unités de contrôle électronique connexes en une maquette fonctionnelle élaborée du mécanisme de balayage du miroir (FTSM) de l'interféromètre. Ce mécanisme de déplacement sera déterminé au moyen d'un système de métrologie au laser. Ce système doit être intégré au FTSM et il doit respecter les exigences très rigoureuses en matière de lumière parasite, exigences qui sont représentatives de toute application d'astronomie spatiale exploitant le spectre de l'infrarouge lointain.

Tableau 1 : Définition des tâches

Tâche	Description	Niveau d'effort (Travail technique) (Ligne directrice)
—	○	
T1 - Concept détaillé du FTSM	<ul style="list-style-type: none"> ○ Élaboration des exigences techniques et des configurations de base ○ Définition des principales composantes de la technologie principale et de l'architecture globale du FTSM ○ Modélisation du rendement du FTSM ○ Préparation du document conceptuel du FTSM 	~ 20 %
T2 - Conception et développement de la maquette fonctionnelle élaborée	<ul style="list-style-type: none"> ○ Configuration de la maquette fonctionnelle élaborée et élaboration du scénario de démonstration ○ Conception préliminaire et détaillée des sous-systèmes critiques ○ Acquisition des composantes ○ Assemblage de la maquette fonctionnelle élaborée et vérification de son fonctionnement ○ Préparation du document de conception de la maquette fonctionnelle élaborée du FTSM 	~ 30 %
T3 - Caractérisation du rendement de la maquette	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mise à l'essai des fonctions de la maquette fonctionnelle élaborée du FTSM avec relèvement magnétique à 4K, 80K 	~ 40 %

fonctionnelle élaborée du FTSM et démonstration	et 296K ○ Réalisation d'essais visant à démontrer le respect des exigences ○ Préparation du rapport de caractérisation de la maquette fonctionnelle élaborée du FTSM	
T4 - réalisation de la TRR	○ Tel que décrit ci-dessus	~ 10 %

La portée des travaux englobe la conception de l'unité électronique de commande de la maquette, des micrologiciels et des logiciels, y compris les composantes électroniques de servocommande du palier magnétique, ainsi que l'intégration de ce dernier à la maquette fonctionnelle élaborée. L'approche préconisée pour l'assemblage visera principalement l'avancement de la maturité du mécanisme. Elle visera également la mise à l'épreuve de l'architecture du système au moyen des systèmes électroniques de la maquette fonctionnelle élaborée. Un algorithme représentatif des contrôles de vol sera également appliqué. Le mécanisme du palier magnétique sera mis à l'épreuve à des températures cryogéniques, et les composantes électroniques seront testées à des températures ambiantes.

Une analyse de conception thermomécanique devra être réalisée afin de confirmer la stabilité du concept du palier magnétique. Il faudra également déterminer l'aptitude du système à subir un cyclage thermique et à fonctionner dans la plage de températures opérationnelles. Cette analyse visera à fournir une première vérification du concept, à savoir s'il respecte les exigences de rendement, s'il tient compte d'effets tels que les aspects linéaires et non linéaires des ETC, de modulation, de calage, et cinématique du montage choisi. L'analyse visera à démontrer que l'approche adoptée est solide avant d'aller de l'avant avec la fabrication et les essais. Une analyse thermique globale permettra d'évaluer les aspects qui ont une incidence sur le rendement et ce, tant au niveau du mécanisme que des éléments électroniques.

L'entrepreneur devra produire des bilans sur les systèmes et les erreurs, ainsi que des bilans thermiques (dans le cadre des produits à livrer ci-dessous), y compris des budgets sur la dissipation et la conductance afin de tenir compte de tous les effets réalistes aux points d'exploitation voulus (un point ambiant et deux points cryogéniques, conformément aux spécifications environnementales). Les bilans devront faire état des propriétés cryogéniques réelles des matériaux dans le trajet du flux thermique et ils devront cartographier les composantes clés des flux. Les conductances de contact dans le trajet des flux devront s'appuyer sur des références justificatives ou des données d'essai. Un modèle de conductibilité du faisceau de fils conducteurs devra être inclus à l'analyse de dissipation, notamment afin de déterminer la variation de résistance associée aux charges parasites en fonction de la température et de fournir des données de conception réalistes pour la conception électromécanique.

En raison des grandes variations d'impédance et des paramètres magnétiques et des capteurs par rapport à la température (comme le courant de Foucault ou d'autres transmetteurs de position très précis), une analyse de contrôle à l'échelle du système devra être réalisée (dans le cadre du produit à livrer D7 qui figure ci-dessous) afin de confirmer la stabilité positionnelle aux points d'exploitation spécifiés.

Une analyse facultative, comprenant notamment une évaluation de la lumière parasite, devra être réalisée (dans le cadre du produit à livrer D7 ci-dessous) afin de démontrer la pertinence du système de métrologie laser et afin de mettre en lumière les sensibilités et les limites de performance du système.

Les systèmes électroniques de la maquette n'ont pas à être spatioqualifiés ou à satisfaire des normes militaires (mil-std), mais elles doivent suivre un plan visant à la spatioqualifier, tel qu'indiqué dans le

plan de développement technologique connexe. Les composants exploitant la fibre optique ou un laser seront choisis en fonction d'un plan de spatioqualification, tel que documenté dans le plan de développement technologique. On tiendra également compte de l'ensemble des paramètres environnementaux afin de s'assurer de la pertinence des activités de développement de la maquette.

Le chemin de câble de la maquette devra être représentatif de la version de vol au chapitre de sa fonctionnalité. De faibles écarts sur le plan des charges thermiques parasites pourront être tolérés, mais ceux-ci devront être documentés dans l'analyse de dissipation/de conductance susmentionnée.

Le FTSM devra être mis à l'essai aux fins de développement de la maquette fonctionnelle élaborée afin de vérifier le bon fonctionnement d'un système de cryogénie intégré dans un interféromètre. L'essai sera réalisé au moyen qu'une maquette de diviseur de faisceau et d'un miroir de renvoi. Il faudra également démontrer, au moyen d'essais, l'indépendance du système de métrologie avec des plans optiques à une séparation connue (contrôlés au moyen d'une phase de translation de grande précision) afin d'établir une corrélation avec l'analyse optique.

L'entrepreneur devra effectuer une évaluation de la maturité technologique (TRA) des technologies clés que l'on prévoit utiliser dans le système proposé, conformément aux Lignes directrices sur l'évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes (SE-AD-1), en utilisant les formulaires fournis par l'ASC : Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC) (SE-AD-4) et la Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) correspondant à chaque ETC et un tableau-synthèse de l'évaluation de la maturité technologique et des risques réalisé à l'aide de l'Outil de consolidation de données (SE-AD-3). Il doit également décrire les caractéristiques de rendement des technologies du concept en fonction des spécifications indiquées ici.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé « Feuille de route technologique », lequel comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La Feuille de route technologique doit être présentée dans le même format que celui de la Feuille de travail sur la feuille de route technologique (SE-AD-5).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Un prototype fonctionnel de FTSM produit en laboratoire doit découler du présent contrat. Le système devra faire l'objet d'une démonstration en laboratoire, mais le mécanisme de palier magnétique devra être mis à l'essai dans un environnement cryogénique. À cette fin, l'entrepreneur devra produire une maquette fonctionnelle élaborée du FTSM, comme suit :

- Maquette fonctionnelle élaborée : La maquette fonctionnelle élaborée doit être représentative des éléments clés du système du point de vue fonctionnel et électrique. Elle servira à valider une caractéristique nouvelle ou critique de la conception et le développement des logiciels. Certains éléments clés du système doivent présenter une configuration et des interfaces représentatives de la maquette de vol. Il n'y a aucune exigence particulière pour la configuration et le contrôle des interfaces.

Au terme du projet, la maquette fonctionnelle élaborée du FTSM devra satisfaire les exigences suivantes :

[Obligatoire-FTSM-01] **Course**

La maquette fonctionnelle élaborée du FTSM doit avoir un intervalle de course linéaire (direction dans l'axe z) relatif à la différence de chemin optique zéro (OPD) allant de -4 à +31.5 mm.

[Obligatoire-FTSM-02] **Précision OPD**

L'erreur de position mécanique absolue en mode immobile doit être inférieure à 15 nm.

[Obligatoire-FTSM-03] **Fréquence d'échantillonnage**

La fréquence d'échantillonnage du capteur interne de l'OPD doit être supérieure à 1 kHz.

[Obligatoire-FTSM-04] **Vitesse de balayage**

La plage de vitesse de balayage de l'OPD doit pouvoir être ajustée entre 25 et 550 $\mu\text{m/s}$ par incréments de 1 $\mu\text{m/s}$, à une précision < 3 $\mu\text{m/s}$.

[Obligatoire-FTSM-05] **Distance d'accélération**

La course du miroir de balayage à l'accélération et à la décélération entre la position au repos et la vitesse maximale doivent être de moins de 0,5 mm.

[Obligatoire-FTSM-06] **Axe optique**

L'axe de rotation du miroir optique de la maquette fonctionnelle élaborée du FTSM devra être < ± 30 secondes d'arc

[Obligatoire-FTSM-07] **Précision de position latérale**

L'erreur de positionnement latéral du miroir de balayage de la maquette fonctionnelle élaborée du FTSM devra être < $\pm 100 \mu\text{m}$ (trois sigma) lors du balayage

[Obligatoire-FTSM-08] **Plage de température de fonctionnement**

Le FTSM devra satisfaire toutes les exigences obligatoires tandis que le mécanisme de palier magnétique devra être maintenu dans une plage de température allant de 4 à 6 K.

[Obligatoire-FTSM-09] **Températures de fonctionnement**

Le FTSM devra demeurer fonctionnel pendant que le mécanisme de palier magnétique est maintenu à température ambiante (296 K) et dans la plage de température de 80 K. Le FTSM n'est pas tenu de satisfaire les exigences de rendement à ces températures.

[Obligatoire-FTSM-10] **Masse**

La masse du mécanisme de balayage de la maquette fonctionnelle élaborée ne doit pas être supérieure à 3 kg.

[Obligatoire-FTSM-11] **Volume**

Le mécanisme de balayage du palier magnétique doit pouvoir être logé dans un volume de 420 mm x 220 mm x 125 mm.

Les lignes directrices suivantes en matière de conception s'appuient sur les documents SE-S7-RD 1 et SE-S7-RD 2 :

Lumière parasite

- Les capteurs qui seront utilisés dans le cadre des futures missions d'astronomie spatiale exploitant le spectre de l'infrarouge lointain seront des capteurs à large bande sensibles à toutes les longueurs d'onde, des rayons X aux ondes radio, et aux champs magnétiques externes. Ainsi, ces sources de « bruit » parasite doivent pouvoir être ignorées. Dans ce contexte, le chemin optique du laser du système de métrologie doit être conçu de manière à ce qu'aucun photon du laser à onde courte ne puisse atteindre la matrice de capteurs. La conception optique doit montrer comment la lumière parasite provenant du système de métrologie au laser sera atténuée.
- Des essais doivent être réalisés afin de fournir une évaluation préliminaire de la contamination du mécanisme du FTS par la lumière parasite du système de métrologie au laser.

Palier magnétique

- Le mécanisme de translation doit être aligné avec le centre de masse de manière à ne pas induire de mouvement latéral ou de chaleur à partir du palier magnétique.
- Une erreur d'alignement minimale devra être établie afin d'assurer la cohérence de la configuration (exigence d'orientation de 0,5 suggérée) du système afin de s'assurer que le déchargement de 1G simule correctement les conditions spatiales.°
- Par leur nature, les paliers magnétiques ont une faible dissipation d'énergie, mais les répercussions des vibrations externes (p.ex., des refroidisseurs cryogéniques ou des roues à réaction) sur la chaleur produite par les servocommandes du palier magnétique doivent être examinées. Le montage d'essai utilisé doit proposer un environnement représentatif afin de bien évaluer les aspects thermiques du servomécanisme (dans le cadre de D14).
- Puisque les paliers magnétiques ont une constante d'élasticité négative, ils sont foncièrement instables. Les systèmes électroniques de contrôle doivent donc être réglés de façon optimale. L'entrepreneur devra tenir compte de cette particularité lors de l'analyse de la stabilité (dans le cadre de D14).
- La masse et la distribution du mécanisme représentatif de mouvement du miroir sont d'abord requises en qualité d'intrants pour la conception du palier magnétique approprié. Une fois le moteur et la servocommande du palier conçus, il incombera à l'entrepreneur de les fabriquer. Le soumissionnaire doit formuler des hypothèses relativement aux activités importantes de développement qu'il réalisera (par exemple, à propos de la durée et de la portée des activités qui seront réalisées par les principaux sous-traitants), notamment par le concepteur du palier magnétique.

Électronique

- Les dispositifs électroniques de contrôle du mécanisme de balayage (SMCE- scanning mechanism control electronics) peuvent comprendre plusieurs boucles de contrôle des fonctions du palier magnétique, pour un balayage et un contrôle actif en vue d'atteindre une position donnée. Toutes les fonctions de cette unité devront être implantées grâce une logique reprogrammable embarquée (via interface série)
- L'entrepreneur devra considérer, durant la phase de conception détaillée, une éventuelle implantation du protocole de communication Spacewire, en accord avec les opportunités offertes par les systèmes des missions faisant appel à l'infra rouge lointain (FIR) tout en considérant la facilité d'adaptation à des dispositifs électroniques du type utilisé en vol (en prendre en compte dans l'évaluation des niveaux de maturité technologique de la technologie)
- L'alimentation doit être conçue et intégrée au SMCE et devra être représentative d'un système équivalent à ceux utilisés en vol du point de vue bruit, de façon à ce que la compatibilité avec les

fonctions de contrôle de position puisse être évaluées, et le risque associé limité, en terme de compatibilité et d'interférence électromagnétique (EMC/EMI).

- La phase de conception détaillée peut comprendre des discussions avec une tierce partie au sujet :
 - Des interfaces entre le faisceau de câbles cryogéniques, l'unité d'alimentation et l'unité de contrôle de l'instrument (ICU) du FTS;
 - Circuiterie de protection (pertinent à l'évaluation des niveaux de maturité technologique de la technologie, même si non implanté dans la maquette
 - Le choix des capteurs (p. ex., rétroaction du système de métrologie laser ou capteurs de position à bobines) pour des raisons de compatibilités, d'héritage et robustesse; et
 - Protocole de communications et robustesse EMC/EMI associée

Mécanique

- Les considérations relatives à la conception mécanique du mécanisme de palier magnétique du FTSM, y compris la structure de soutien du système de métrologie, devront tirer profit des leçons retenues des programmes antérieurs ayant exploité des mécanismes de cryogénie, par exemple les instruments en plan focal de l'observatoire Herschel et/ou du FGS-JWST. Il sera nécessaire, en vue de la fabrication, d'avoir une bonne compréhension des matériaux à utiliser, de leurs propriétés, des processus thermiques et des processus d'usinage afin d'atténuer le stress à basse température. La cinématique du montage doit être hautement déterministe et permettre l'obtention de résultats identiques lors de cycles thermiques subséquents (un certain tassement peut être accepté lors du premier cycle).

Durée de vie

- Le FTSM devrait avoir une durée de vie utile de 140 000 balayages.

Vérification

Le Tableau 6-1 présente les méthodes de vérification qui doivent être utilisées afin de vérifier les exigences contenues dans le présent ET. Toutes les exigences doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

- 1) Analyse (y compris les simulations)
- 2) Examen de la conception
- 3) Démonstration
- 4) Inspection
- 5) Examen

Ces méthodes sont décrites ci-après.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par d'autres types de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). L'analyse devrait être le plus possible fondée sur des données d'essai (p. ex., extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesuré pour déterminer le rendement en fin de vie ou combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré). L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou seule, comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) seront sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire servira à prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle définira les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Examen de la conception

Un examen de la conception sera réalisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Démonstration

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Cette forme de vérification s'applique aux exigences « oui/non » qui peuvent être vérifiées à l'aide d'une mesure quelconque. Elle sert à démontrer que l'équipement fonctionne selon les exigences ou à vérifier des caractéristiques comme les facteurs humains, les caractéristiques d'ingénierie, les services, les caractéristiques d'accès, la transportabilité, etc.

Inspections

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

EXAMEN

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre va décliner au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Tableau 2 – Méthodes de vérification

Besoin	Nom	Méthode	Remarque :
I : Inspection, E : Essai, A : Analyse, D : Démonstration, RC : Revue de la conception			
Obligatoire-FTSM-01	Course	E	
Obligatoire -FTSM-02	Précision OPD	E, RC	
Obligatoire -FTSM-03	Fréquence d'échantillonnage	D	
Obligatoire -FTSM-04	Vitesse de balayage	E	
Obligatoire -FTSM-05	Distance d'accélération	E	
Obligatoire -FTSM-06	Axe optique	RC	

Besoin	Nom	Méthode	Remarque :
I : Inspection, E : Essai, A : Analyse, D : Démonstration, RC : Revue de la conception			
Obligatoire -FTSM-07	Précision de position latérale	E, RC	
Obligatoire -FTSM-08	Plage de température de fonctionnement	D	
Obligatoire -FTSM-09	Températures de fonctionnement	D	
Obligatoire -FTSM-10	Masse	I, RC	
Obligatoire -FTSM-11	Volume	I, RC	

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 5 et ce, dans un délai de deux ans suivant l'attribution du contrat.

Missions visées

On s'attend à ce que toutes les futures missions d'astronomie d'observation dans l'infrarouge lointain utilisent des mécanismes de refroidissement cryogénique. À ce jour, plusieurs missions de ce type sont en cours d'élaboration, dont les suivantes :

- [SPICA](#) (SPace Infrared telescope for Cosmology and Astrophysics). Cette mission constitue une première possibilité pour le Canada. Le mécanisme de balayage FTS (FTSM) de l'instrument SAFARI de SPICA, qui est constitué d'un FTSM et d'un FTSCU, constitue l'une des trois technologies essentielles de SAFARI. Cet élément devra faire l'objet d'une démonstration expérimentale avant la sélection des missions, laquelle est prévue au milieu de l'année 2017. Cet élément constituera également une technologie essentielle pour les futures missions d'observation dans le spectre de l'infrarouge lointain. [FIRI](#) (Far-Infrared Interferometer);
- [SPIRIT](#) (Space Infrared Interferometric Telescope);
- [SPECS](#): (Submillimeter Probe of the Evolution of Cosmic Structure);

La mission-cible immédiate est SPICA SAFARI, une mission d'astronomie dans l'infrarouge de prochaine génération dirigée par la JAXA (Japon) avec une contribution importante de l'ESA et du consortium européen. Grâce à son télescope de grande taille (classe 3-m) et activement refroidi (< 6 K), la mission SPICA effectuera des observations de sensibilité et de résolution spatiale supérieures. SAFARI (SpicA FAR-infrared Instrument) est l'un des trois instruments qui formeront la charge utile de SPICA. SAFARI est le spectromètre d'imagerie dans l'infrarouge lointain (FIR) (30 - 210 μm , résolution spectrale de 10 à 10000). Il sera installé aux côtés de deux instruments d'observation dans l'infrarouge moyen, soit le coronographe MIR (3.5/5 - 27 μm) et la caméra/le spectromètre MIR (5 - 38 μm).

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

No	Échéance	Produit à livrer	Type
D1	M2, Mise à jour M5	Document conceptuel	Document/rapport technique

D2	M3, Mise à jour M5	Documents de conception	Document/rapport technique
D3	M3	Plan de vérification	Document/rapport technique
D4	M4	Rapport de vérification	Document/rapport technique
D5	Chaque revue et jalon	Matrice de conformité	Document/rapport technique
D6	M5	Rapport sommaire	Rapport général
D7	Ébauche M2, M3, Mise à jour M4, Mise à jour M5	Modèles et analyses	Données techniques et analyse. Rapport de corrélation remis à la mise à jour M5.
D8	M5	Rapport de caractérisation	Document/rapport technique
D9	M5	Matériel	Produits logiciels et matériels à livrer à la fin du contrat
D10	M5	Logiciels	Produits logiciels et matériels à livrer à la fin du contrat
D11	Ébauche M4, M5	Guide de l'utilisateur	Document/rapport technique
D12	Ébauche M2, M3, M5	Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	Document/rapport technique
D13	Ébauche M3, M4, Mise à jour M5	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	Document/rapport technique
D14	M4	Procédures de vérification	Document/rapport technique

ÉCHÉANCIER (JALONS)

Ce développement technologique aura une durée maximale de 24 mois.

Tableau 3 – Jalons du calendrier

Jalons	Description		
M1	Début/réunion de lancement		
Au moins tous les 4 mois	Réunions d'examen de l'avancement des travaux		
M2- CR	Revue du concept		
M3- DDR	Revue de conception détaillée (DDR)		
M4- TRR	Revue d'aptitude aux essais (TRR)		
M5- Revue finale	Réunion de revue finale		

Technologie prioritaire 18 (TP 18)

**Mise au point d'un amplificateur
de grande puissance au nitrure
de gallium (GaN) pour les
applications en bande C et X**

Mise au point d'un amplificateur de grande puissance au nitrure de gallium (GaN) pour les applications en bande C et X

Liste d'acronymes

AD	Document applicable
CAO	Conception assistée par ordinateur
CMOS	Métal-oxyde-semiconducteur complémentaire
ASC	Agence spatiale canadienne
CW	Ondes entretenues
GaAs	Arséniure de gallium
GaN	Nitrure de gallium
HPA	Amplificateur de grande puissance
HTCC	Céramique à cuisson simultanée à haute température
ITAR	International Trading in Arms Regulation (États-Unis)
JAXA	Agence spatiale japonaise
LTCC	Céramique à cuisson simultanée à basse température
MMIC	Circuit intégré monolithique hyperfréquence
PRF	Fréquence de répétition des impulsions
RD	Document de référence
RCM	Mission de la constellation RADARSAT
AS	Autorité scientifique
SAR	Radar à synthèse d'ouverture
SiGe	Silicium-germanium
AT	Autorité technique
NMT	Niveau de maturité technologique
É.-U.	États-Unis
\$ US	Dollar des États-Unis

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables indiqués ci-dessous peuvent être obtenus sur les sites FTP (transfert de fichiers) suivants :

Les documents SU-AD-1 et SU-AD-2 se trouvent à l'adresse <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>.

Le document SU-AD-3 se trouve à l'adresse <https://escies.org/webdocument/showArticle?id=167>.

N° d'AD	Numéro du document	Titre du document	N° de révision	Date
SU-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SU-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013
SU-AD-3.	ECSS-Q-ST-30-11C	Derating - EEE components	1	4 octobre 2011

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de révision	Date
SU-RD-1.	Guide PMBOK	A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Project Management Institute, Incorporated	4 ^e édition	2008
SU-RD-2.	ESTEC, TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications		Mars 2009
SU-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard [Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC]	Rév. A	7 novembre 2008
SU-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices [Méthodes et pratiques de systématique de l'ASC]	Rév. B	10 mars 2010

Le document SU-RD-2 se trouve sur le site FTP (transfert de fichiers) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>.

Les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 se trouvent sur le site FTP (transfert de fichiers) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>.

Description de la technologie

Les besoins en constante évolution en matière de communication à grand débit et de satellites d'observation de la Terre par radar à synthèse d'ouverture (RSO) en hyperfréquences à haute résolution repoussent déjà les limites de ce qui est possible au moyen de matériaux semiconducteurs classiques comme le l'arséniure de gallium (GaAs) et le silicium-germanium (SiGe). Les autres procédés de semiconducteurs, comme le CMOS, ne sont pas très adaptés à une exploitation dans un environnement difficile, particulièrement en raison du rayonnement.

Les caractéristiques des semiconducteurs à base de GaN, comme leur densité de puissance élevée, leur tension et leur température de fonctionnement élevées ainsi que leur résistance intrinsèque au rayonnement pourraient faire des dispositifs GaN un excellent choix pour les applications dans les milieux difficiles des missions spatiales, qu'il s'agisse de communication, d'observation de la Terre ou même d'exploration planétaire.

De plus, le GaN pourrait améliorer grandement la performance des systèmes de communication et de radar à large bande, car il peut fournir une puissance dix fois plus élevée en hyperfréquences par rapport aux semiconducteurs au silicium et à l'arséniure de gallium actuellement utilisés dans les systèmes de radar et les émetteurs de communication des satellites. Les dispositifs au GaN ont également des applications non spatiales, par exemple dans les industries de l'automobile, de l'aéronautique, de la défense, des mines et du pétrole.

Par rapport aux autres technologies à semiconducteurs, les amplificateurs à base de GaN ont :

- des tensions de fonctionnement supérieures
- des puissances de sortie supérieures
- un rendement supérieur
- une fiabilité accrue.

Les améliorations de la performance des circuits et des systèmes faisant usage de ces amplificateurs sont notamment :

- une plus grande largeur de bande en raison de la meilleure adaptation d'impédance pour une puissance de sortie donnée
- une amélioration du rendement énergétique du système en raison de la réduction des pertes ohmiques dans les réseaux d'alimentation à courant continu
- la possibilité de mettre à jour les systèmes à tube à ondes progressives (TOP) au moyen d'amplificateurs de puissance au GaN à haute tension
- des amplificateurs de puissance plus fiables et plus petits.

Ces avantages sont cependant accompagnés par des inconvénients :

- densité de flux thermique accrue
- tension c.c. de fonctionnement accrue

- manque d'antécédents orbitaux.

Remarque : Le satellite d'observation de la Terre par RSO ALOS-2 est muni de modules émetteurs-récepteurs en bande L au GaN. Il s'agit de l'une des premières missions commerciales utilisant des semiconducteurs au GaN. ALOS-2 a été lancé avec succès le 24 mai 2015, et sa durée de vie prévue est de 5 ans.

<http://global.jaxa.jp/activity/pr/brochure/files/sat29.pdf>

Les dispositifs au GaN peuvent être utilisés avec des puissances et des rendements plus grands sur des bandes plus larges que les dispositifs actuels au GaAs, pourvu que les questions de gestion thermique puissent être résolues.

La mise au point de composantes de grande puissance à large bande et à rendement accru pour les applications d'observation de la Terre et de transmission de données au moyen de composantes au GaN avec une bonne gestion thermique sera sans doute un atout pour les missions spatiales futures comme celles qui succéderont à la Mission de la constellation RADARSAT (MCR) actuelle.

Le présent énoncé des travaux porte sur deux problèmes que pose l'utilisation du GaN dans les missions spatiales : la mise au point de blocs fonctionnels pour les futures applications radar et la résolution des difficultés de gestion thermique.

Pour le premier problème, l'énoncé prévoit la mise au point, la fabrication et l'essai d'amplificateurs de grande puissance (HPA) en bande C et en bande X.

Les difficultés thermiques posées par les dispositifs GaN, surtout pour les composantes qui les entourent, rendent nécessaire la mise au point d'approches novatrices de gestion de la chaleur par l'entremise de l'évaluation de matériaux et de structures qui permettent d'augmenter la densité de puissance sans toutefois réduire la performance des circuits intégrés monolithiques hyperfréquences (MMIC) ni leur fiabilité.

La mise au point de blocs fonctionnels à semiconducteurs au GaN évolués s'inscrit dans les objectifs et la stratégie de l'ASC et permettra d'augmenter la capacité d'une technologie emblématique. Établir la position de chef de file du Canada dans le domaine de la microélectronique au GaN augure des bénéfices scientifiques et commerciaux substantiels et contribue à assurer la participation hautement visible et essentielle du Canada à la prochaine ère d'utilisation de l'espace.

Étendue des travaux

L'étendue des travaux définie ici complète la section A.6 « Description générique des tâches » de l'annexe A.

L'entrepreneur doit faire les travaux nécessaires pour réaliser une première itération du concept d'amplificateur de grande puissance pour chaque bande de fréquence et de l'approche de gestion thermique connexe. Les concepts doivent faire appel à un MMIC au GaN et doivent être compatibles avec les technologies de conditionnement modernes, telles que la LTCC ou la HTCC. Certains composants auxiliaires du HPA peuvent se trouver à l'extérieur de la puce du HPA. Il est grandement préférable que les concepts et les techniques d'amplificateur de grande puissance soient déjà bien compris par l'équipe du soumissionnaire, de façon à ce que le projet puisse effectivement produire un amplificateur répondant aux exigences à la première itération et attendre un niveau de maturité technologique de 5.

L'étendue du présent énoncé des travaux comprend les activités suivantes :

- gestion du projet;
- revue de la littérature sur les technologies applicables;
- recherche et sélection d'une usine de fabrication de MMIC au GaN;
- établissement des exigences techniques et des configurations de référence pour les approches de gestion thermique;
- conception préliminaire et détaillée;
- acquisition;
- fabrication, assemblage et vérifications des HPA et de la gestion thermique;
- fourniture de tous les documents connexes;
- fourniture de tous les logiciels connexes.

Les travaux peuvent être divisés en trois parties :

- 1- conception et essai du HPA (préférentiellement plus d'une variante par bande de fréquence)
- 2- sélection de l'usine de fabrication du MMIC et acquisition/fabrication de plaquette ^{Voir remarque 1}
- 3- approche du concept thermique, fabrication et essai ^{Voir remarque 2}

Ces amplificateurs sont destinés aux missions spatiales futures; leur conception et la sélection de leurs composantes doivent satisfaire les exigences d'assurance de la qualité en ce qui concerne le déclassement, conformément au document SU-AD-3.

L'entrepreneur doit évaluer la maturité des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système proposé ainsi que les risques connexes, conformément aux exigences qui sont indiquées dans les documents SU-AD-1 et SU-AD-2. Il doit également décrire les caractéristiques de rendement des technologies du concept en fonction des spécifications indiquées ici.

Remarque 1 : La sélection d'une usine et d'un procédé de fabrication convenables doit répondre aux conditions suivantes :

- a) possibilité d'offrir un gain et une puissance permettant de répondre aux exigences à la fréquence de fonctionnement avec une certaine marge,
- b) spatioqualification ou spatioqualification en voie d'être obtenue,
- c) l'utilisation des produits de l'usine/procédé dans des applications de mission spatiale comme l'observation de la Terre n'est pas soumise aux règlements ITAR des États-Unis.

En ce qui concerne le budget, le coût d'une plaquette de développement de 100 mm devrait être de 150 000 à 200 000 dollars américains.

Remarque 2 : Il serait hautement désirable que les éléments de gestion thermique soient intégrés aux maquettes de HPA au GaN et que le HPA et les éléments de gestion thermique soient mis à l'essai ensemble.

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Cette section indique les spécifications du HPA en bande C au GaN et du HPA en bande X au GaN. Les concepts doivent répondre aux exigences minimales et devraient satisfaire les objectifs indiqués dans tableaux 1 et 2 respectivement.

Tableau 1 – Spécifications du HPA en bande C

Paramètre	Spécification			Unité	Remarques
	Min.	Max.	Objectif		
Puissance de sortie (P_{out}) <small>Voir remarque 3</small>	20 (43,0)			W (dBm)	Avec une compression de gain de 2 dB en onde entretenue (CW)
	40 (46)		50 (47,0)	W (dBm)	Avec une compression de gain de 2 dB en mode d'émission d'impulsions
Fréquence médiane (f_c)	5,405	5,405		GHz	
Largeur de bande	100		300	MHz	Largeur de bande plus élevée pour la f_c supérieure visée
Gain linéaire	14			dB	Avec une réduction de puissance de sortie à partir de la puissance de sortie nominale de 10 dB
Planéité		0.5	0,1	dB _{p-p}	Avec une compression de 2 dB
Rendement en puissance ajoutée (PAE)	40		60	%	Avec une compression de 2 dB (puce seulement)
Paramètres des impulsions					
Fréquence de répétition des impulsions (PRF)	1	6		kHz	
Facteur d'utilisation	2	25		%	

Remarque 3 : Comme première approximation, le flux thermique de la surface de montage de la puce peut être évalué à entre 200 et 900 W/cm², selon le procédé de fabrication, le tracé du MMIC, la puissance de sortie et le rendement en puissance ajoutée.

Tableau 2 – Spécifications du HPA en bande X

Paramètre	Spécification			Unité	Remarques
	Min.	Max.	Objectif		
Puissance de sortie (P_{out}) <small>Voire remarque 4</small>	20 (43,0)			W (dBm)	Avec une compression de gain de 2 dB en onde entretenue (CW)
	30 (44,8)		50 (47,0)	W (dBm)	Avec une compression de gain de 2 dB en mode d'émission d'impulsions
Fréquence médiane (f_c)	9,6		9,9	GHz	
Largeur de bande	600		1200	MHz	Largeur de bande plus élevée pour la f_c supérieure visée
Gain linéaire	12			dB	Avec une réduction de puissance de sortie à partir de la puissance de sortie nominale de 10 dB
Planéité		0,5	0,1	dB _{p-p}	Avec une compression de 2 dB
Rendement en puissance ajoutée (PAE)	40		60	%	Avec une compression de 2 dB (puce seulement)
Paramètres des impulsions					
Fréquence de répétition des impulsions (PRF)	1	6		kHz	
Facteur d'utilisation	2	25		%	

Remarque 4 : Comme première approximation, le flux thermique de la surface de montage de la puce peut être évalué à entre 200 et 900 W/cm², selon le procédé de fabrication, le tracé du MMIC, la puissance de sortie et le rendement en puissance ajoutée.

Échéancier NMT

Pour la mise au point de cette technologie, on vise l'atteinte du NMT 5 pendant la durée du contrat.

Missions visées

La mission visée est la prochaine génération de RADARSAT.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici s'ajoutent à ceux de la section A.7 « Réunions et produits à livrer prévus au contrat » de l'annexe A.

- Maquettes des amplificateurs en bande C et en bande X et prototypes de gestion thermique
- Tous les fichiers de CAO, le code source des logiciels écrits sur mesure (le cas échéant) et les feuilles de calcul
- Au moins dix puces de HPA au GaN reconnues comme étant fonctionnelles.

ID	Échéance	Produit à livrer	Type
D1	M2	Document de définition des exigences	Document technique/rapport
D2	M2	Document de définition préliminaire	Document technique/rapport
D3	M3	Document de définition détaillée	Document technique/rapport
D4	M2, M3, M4	Modèles et analyses	Analyse et données techniques

Calendrier et jalons

Ce développement technologique durera jusqu'à 24 mois.

L'entrepreneur doit prévoir les revues d'étape suivantes.

Tableau 3 – Calendrier et jalons

Jalon	Réunion	Date	Endroit
M1 - RL	Réunion de lancement	Une semaine après la date de début du contrat	Entrepreneur
RET	Réunion d'échange technique	Selon les besoins	Téléconférence
M2	Revue de définition préliminaire	Quatre semaines avant la date de début de la fabrication de la plaquette ^{Voir} remarques 5, 6	Entrepreneur
M3	Revue de conception critique	Huit semaines après la date de réception de la plaquette	Entrepreneur
M4	Réunion de revue finale	Une semaine avant la date de fin du contrat	ASC

Remarque 5 : La réunion de revue de définition préliminaire du HPA et l'acquisition subséquente de la plaquette devraient avoir lieu avant la fin de la première année du contrat (31 mars).

Remarque 6 : La réunion de revue de définition préliminaire du HPA peut avoir lieu avant ou en même temps que la revue de conception du MMIC réalisée par l'entrepreneur. Dans ce cas, des représentants de l'ASC doivent être invités à y participer. Ce jalon doit être terminé avec succès avant que la fabrication de la plaquette soit entreprise.

Tous les principaux participants au contrat, y compris au moins un représentant de chacun des sous-traitants (le cas échéant), doivent assister à l'ensemble des réunions. Pour réduire les coûts de déplacement, certains participants peuvent assister à la réunion par téléconférence.

La réunion de revue de définition préliminaire aura pour objet particulier de discuter en détail du circuit d'amplificateur de grande puissance avant qu'il ne soit présenté à l'usine de fabrication pour être produit. La conception du MMIC doit être acceptée comme étant exempte d'erreur, avec une confirmation par le fournisseur, avant la tenue de cette réunion.

La réunion de revue finale aura pour objet particulier de discuter en détail des résultats obtenus. Cette réunion vise à fournir à l'entrepreneur, à l'autorité technique (AT) et aux autres participants invités l'occasion d'examiner le projet et d'en discuter. Les principaux employés de l'entrepreneur participant aux travaux qui font l'objet de la revue devront assister aux réunions. La date et l'heure exactes de la réunion de revue seront convenues par le chargé de projet, l'autorité technique et l'entrepreneur.

Technologie Prioritaire 19 (TP 19)

Récepteur SAR multicanaux

Récepteur SAR multicanaux

Contexte

Les systèmes SAR classiques ont une limite fondamentale quant au rapport entre la taille de la fauchée et la résolution azimutale. Tous les modes d'exploitation des instruments SAR classiques aboutissent généralement avec un rapport taille de fauchée/résolution azimutale d'environ 10 km/m et une limite absolue d'environ 20 km/m.

Pour dépasser cette limite, il faut disposer d'un système SAR à ouvertures multiples. RADARSAT-2 permet de recevoir séparément des données à chaque aile de l'antenne, ce qui autorise des modes avec un rapport taille de fauchée/résolution d'environ 30 km/m. Cependant, l'utilisation de ce mode est limité à une seule combinaison de polarisation émission/réception.

L'exploitation à l'aide d'une large fauchée et d'une résolution relativement haute serait bénéfique pour plusieurs applications qui intéressent le Canada. Par exemple, cela permettrait la surveillance d'une plus large fauchée au-dessus de l'océan pour la détection des navires et la surveillance des glaces. On pourrait assurer la même couverture avec un nombre restreint de satellites, mais chacun de ces derniers devrait être un peu plus puissant.

La disponibilité d'un récepteur multicanaux donnerait aussi d'importants avantages dans d'autres applications, comme les applications GMTI, l'estimation de la vitesse des navires, la suppression de l'ambiguïté des zones littorales and et une plus grande résolution en mode Stripmap.

Il nous manque toujours des technologies importantes pour permettre l'exploitation complète à ouvertures multiples, dont une conception d'émetteur-récepteur capable de fonctionner en mode multicanaux. Un tel émetteur-récepteur devrait être doté d'une interface avec l'antenne de façon à générer des impulsions de moyenne puissance et recevrait des signaux déjà amplifiés par les AFB de différentes sections (et de différentes polarisations) de l'antenne. Cette étude permettra d'explorer la possibilité de concevoir un émetteur-récepteur permettant la réception simultanée de 4 à 8 canaux pour permettre l'exploitation à ouvertures multiples, tout en conservant la capacité de fournir des données dans deux polarisations de réception.

Objectifs

Les objectifs sont les suivants :

- créer une conception d'émetteur-récepteur pour un satellite SAR en bande C qui soit hautement modulaire et extensible, et qui offre une largeur de bande accrue;
- améliorer suffisamment le niveau de maturité du système SAR multicanaux pour permettre de démontrer la faisabilité en vue de générations futures de satellites radar et approfondir notre compréhension des avantages et des coûts d'un système multicanaux par rapport à un plus grand nombre de satellites moins puissants.

Tâches

L'entrepreneur doit mener une étude des options afin de sélectionner une conception qui sera réalisée dans une maquette fonctionnelle. Cette étude doit clairement identifier les points forts et les faiblesses de chaque option selon les points de vue suivants :

- extensibilité du système de façon à accepter de multiples canaux de réception;
- flexibilité du système à accepter différentes combinaisons d'ouvertures et de polarisations distinctes;
- facilité de fabrication et d'intégration;
- rendement du système (RF, alimentation, masse, etc.).

L'entrepreneur doit créer une maquette fonctionnelle de l'option retenue. Il est essentiel que la maquette fonctionnelle possède les fonctionnalités suivantes :

- production d'impulsions RF;
- réception d'un signal RF et abaissement de fréquence à un signal numérique;
- fourniture d'une interface permettant de contrôler de façon synchrone la production et la réception des signaux.

Il n'est pas nécessaire que des systèmes redondants soient installés dans la maquette fonctionnelle, mais l'entrepreneur doit expliquer comment le système final sera configuré avec du matériel redondant.

La maquette fonctionnelle peut être une combinaison d'une conception spéciale et de modules/cartes de démonstration disponibles dans le commerce. Cependant, l'entrepreneur doit démontrer qu'il sera possible de concevoir et de fabriquer une conception semblable en utilisant exclusivement des pièces qui conviennent à une mission de 7 à 10 ans dans l'espace.

La maquette fonctionnelle doit être conçue de façon à répondre aux exigences définies dans la section Exigences obligatoires du présent document.

Des exigences facultatives sont données avec deux objectifs en tête :

- explorer différents niveaux de rendement et d'extensibilité, et mieux comprendre l'impact du niveau de rendement demandé;
- l'ensemble complet d'exigences liées à l'unité dépasserait la portée du travail prévu pour cette étude. Toutefois, dans certains cas, une connaissance de ces exigences pourrait avoir une incidence sur les choix de conception pour la présente étude.

Compte tenu de ces objectifs, l'entrepreneur doit expliquer l'impact de l'incorporation de ces exigences facultatives dans la conception. Au cours de la conception, on doit donner la priorité aux options qui permettraient au projet de répondre aux exigences facultatives (avec la possibilité de travaux additionnels). Il faut éliminer les options de conception qui limiteraient considérablement la possibilité de mettre en œuvre les exigences facultatives dans une phase ultérieure.

L'entrepreneur devrait répondre aux exigences de la section Exigences facultatives. Si une des exigences facultatives n'est pas mise en œuvre, l'entrepreneur doit expliquer les défis que présenterait l'incorporation de ces exigences dans la conception.

L'entrepreneur doit créer et mettre en œuvre une procédure de mise à l'essai permettant d'évaluer le niveau de conformité de la maquette fonctionnelle aux exigences obligatoires. Un certain niveau de non-conformité peut être démontré dans les essais à ce stade précoce du développement, mais l'entrepreneur doit au moins démontrer :

- qu'une impulsion de signal RF peut être produite;
- qu'un signal RF peut être reçu et numérisé dans de multiples canaux avec une bonne cohérence entre les canaux;
- que l'émission et la réception des signaux peuvent être contrôlées au moyen d'une interface synchrone.

Des cas de non-conformité révélés par les essais qui n'ont aucune incidence sur la fonctionnalité de base décrite ci-dessus peuvent être acceptés. Cependant, avant qu'un cas de non-conformité puisse être accepté, l'entrepreneur doit :

- étudier le cas de non-conformité et démontrer que la résolution de la non-conformité n'est pas triviale;
- démontrer que l'on aurait dû s'attendre à ce que la conception soit conforme ou que la mise à l'essai était la seule façon raisonnable d'évaluer la conformité;
- proposer des solutions potentielles afin de répondre aux exigences dans le cadre d'un développement ultérieur.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement permettant de spatioqualifier la conception. Le plan doit comprendre :

- les tâches nécessaires pour qualifier la conception;
- un échéancier;
- l'identification des principaux risques techniques;
- une estimation du coût de l'exécution des tâches.

Produits livrables

Les entrepreneurs doivent fournir les produits à livrer suivants :

Produit à livrer	Réunion
Analyse des compromis	Examen intermédiaire 1
Document de conception de la maquette fonctionnelle	Revue de la conception – Examen intermédiaire 2
Plan d'essai	Revue d'aptitude à l'essai – Examen intermédiaire 3

Rapport d'essai	Examen final
Plan de perfectionnement	Examen final
Matériel de la maquette fonctionnelle, logiciels à l'appui et code des micrologiciels	Examen final

Réunions

L'entrepreneur doit organiser les réunions suivantes :

Réunion	Description
RL	Lancement
Examen intermédiaire 1	Examen de l'analyse des différentes options et entente sur les options choisies à inclure dans la maquette fonctionnelle
Revue de la conception – Examen intermédiaire 2	Examen de la conception de la maquette fonctionnelle
Revue d'aptitude à l'essai – Examen intermédiaire 3	Examen de l'état de la maquette fonctionnelle et du plan de mise à l'essai
Examen final	Examen final. Examen des résultats des essais et du plan de développement

Exigences techniques

Exigences obligatoires

Les circuits électroniques de l'émetteur/récepteur doivent répondre aux exigences de rendement suivantes.

N°	Description	Valeur	Commentaires
MCE-001	Fréquence centrale	5,405 GHz	
MCE-002	Largeur de bande	10 à 300 MHz	Au moins 20 largeurs de bande doivent être fournies. L'espacement en valeur absolue doit être plus petit pour les faibles largeurs de bande et il peut être plus grand pour les largeurs de bandes

			supérieures.
MCE-003	Durée des impulsions	5 μ s à 50 μ s	
MCE-004	Fréquence de répétition des impulsions	1000 Hz à 7000 Hz	
MCE-005	Force bruit signal	-75 dBm/MHz à -85 dBm/MHz	
MCE-006	Gamme dynamique instantanée	30 dB	Pour n'importe quelle combinaison de force du signal de bruit et de largeur de bande, le récepteur doit offrir une gamme dynamique d'au moins 30 dB. La gamme dynamique est définie pour un signal dont la puissance est égale au niveau de bruit, jusqu'à un signal de 30 dB supérieur au niveau de bruit.
MCE-007	Bruit de quantification	-17,5 dB	Le rapport entre le bruit de quantification et le signal doit être supérieur à -17,5 dB dans la gamme dynamique instantanée.
MCE-008	Forme d'onde	Piaulement FM linéaire (piaulement croissant et décroissant)	La prédistorsion de phase et d'amplitude doit être disponible à la sortie du générateur de formes d'onde.
MCE-009	Facteur de bruit	-12,5 dB	
MCE-010	Réplique	Le système doit pouvoir mesurer une copie du signal émis avec chaque canal de réception.	
MCE-011	Nombre de canaux indépendants	4	
MCE-12	Combinaisons de canaux avec 4 canaux indépendants	Le système doit pouvoir accepter les configurations suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Tous les canaux sont affectés à une section différente de l'antenne avec une polarisation simple (4 sous-ouvertures, 1 polarisation). - Deux canaux sont utilisés pour chaque côté de 	Pour ce faire, on peut combiner le signal RF à l'entrée ou combiner les signaux numérisés.

		l'antenne, recueillant ainsi des données à polarisation simple ou double (2 sous-ouvertures, polarisation simple ou double). - Les canaux sont combinés de façon à générer une seule ouverture et une polarisation simple ou double.	
MCE-013	Connaissance du déséquilibre de phase entre les canaux	Inférieure à 5 °	À la sortie du flux de données numérisées. Il est acceptable d'utiliser la réplique du signal pour répondre à cette exigence.
MCE-014	Connaissance du déséquilibre d'amplitude entre les canaux	Inférieure à 0,5 dB	À la sortie du flux de données numérisées. Il est acceptable d'utiliser la réplique du signal pour répondre à cette exigence.
MCE-015	Interface de commande	L'équipement doit offrir une interface convenable pour contrôler les paramètres et la largeur de bande pour chaque impulsion de façon synchrone.	
MCE-016	Interface de sortie numérique	L'équipement doit offrir un débit de données à la sortie d'au moins 800 Mb/s lorsque les 4 canaux sont utilisés.	

Exigences facultatives

Les circuits électroniques de l'émetteur-récepteur devraient respecter les exigences de rendement suivantes :

N°	Description	Valeur	Commentaires
MCE-017	Planéité de l'amplitude	Doit être compatible avec l'utilisation de la maquette fonctionnelle comme émetteur-récepteur SAR.	Ce sont là des objectifs secondaires de ce contrat, car il faut se concentrer sur l'aspect multicanaux. Un développement plus poussé de cette technologie devrait répondre à ces exigences.

MCE-018	Planéité de phase	Doit être compatible avec l'utilisation de la maquette fonctionnelle comme émetteur-récepteur SAR.	Ce sont là des objectifs secondaires de ce contrat, car il faut se concentrer sur l'aspect multicanaux. Un développement plus poussé de cette technologie devrait répondre à ces exigences.
MCE-019	Stabilité d'amplitude	Doit être compatible avec l'utilisation de la maquette fonctionnelle comme émetteur-récepteur SAR.	Ce sont là des objectifs secondaires de ce contrat, car il faut se concentrer sur l'aspect multicanaux. Un développement plus poussé de cette technologie devrait répondre à ces exigences.
MCE-020	Stabilité de phase	Doit être compatible avec l'utilisation de la maquette fonctionnelle comme émetteur-récepteur SAR.	Ce sont là des objectifs secondaires de ce contrat, car il faut se concentrer sur l'aspect multicanaux. Un développement plus poussé de cette technologie devrait répondre à ces exigences.
MCE-021	Nombre de canaux indépendants	8	Ce but vise à approfondir notre compréhension de l'impact qu'aurait l'augmentation du nombre de canaux.
MCE-022B	Combinaisons de canaux avec 8 canaux indépendants	<p>Le système devrait pouvoir accepter les configurations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4 paires de canaux affectés à un différent point de l'antenne, chacun d'eux recueillant des données à simple ou double polarisation (4 sous-ouvertures, polarisation simple ou double). - Deux canaux sont utilisés pour chaque côté de 	On peut y arriver en combinant le signal RF à l'entrée ou en combinant les signaux numérisés.

		<p>l'antenne, recueillant ainsi des données à polarisation simple ou double (2 sous-ouvertures, polarisation simple ou double).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les canaux sont combinés pour générer une seule ouverture et une polarisation simple ou double. 	
MCE-023	Puissance de sortie	10 W	Ceci n'est pas le but principal de cet effort de développement. D'autres travaux de développement devraient tenir compte de la puissance de sortie nécessaire.
MCE-024	Masse	40 kg, y compris les éléments redondants	La masse de la maquette fonctionnelle n'est pas critique, mais il faut songer à la masse de la conception finale.
MCE-025	Puissance	100 W	L'alimentation de la maquette fonctionnelle n'est pas critique, mais il faut songer à l'alimentation de la conception finale.
MCE-026	Génération de formes d'ondes arbitraires	Permettre la génération de formes d'ondes arbitraires	
MCE-027	Interface de sortie numérique	L'équipement devrait offrir un débit de données de sortie d'au moins 1600 Mb/s lorsque tous les canaux sont utilisés.	

Technologie Prioritaire 20 (TP 20)

Prototype de capteur actif compact (CAST)

Prototype de capteur actif compact (CAST)

Liste d'acronymes

AD	Document applicable
CAST	Capteur actif compact (Compact Active Sensor Technology)
ASC	Agence spatiale canadienne
ETC	Éléments technologiques critiques
MAN	Modèle altimétrique numérique
MSE	Mobilité de surface pour l'exploration
ExCore	Exploration de base
FFoV	Champ de vision total
FoV	Champ de vision
GER	Feuille de route mondiale pour l'exploration
GNC	Guidage, navigation et contrôle
ISRU	Utilisation des ressources lunaires in situ
ISS	Station spatiale internationale
LEO	Orbite basse terrestre
LIDaR	Imagerie, détection et télémétrie par laser
MSL	Mars Science Laboratory
NASA	National Aeronautics and Space Administration
DOCN	Distance oculaire critique nominale
PSR	Région plongée dans l'obscurité en permanence
PTU	Bloc panoramique basculant
RD	Document de référence
DP	Demande de propositions
RSM	Mât de télédétection
ET	Énoncé de travail
DPTS	Programme de développement des technologies spatiales
NMT	Niveau de maturité technologique
TRM	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation de la maturité technologique et des risques
MCV	Matrice de conformité de vérification

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition. Les documents applicables indiqués ci-dessous peuvent être obtenus sur les sites FTP (transfert de fichiers) suivants :

- Les documents SE-AD-1, SE- AD-2, SE- AD-3 et SE-AD-4 se trouvent à l'adresse <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>;
- Le document SE-AD-5 se trouve à l'adresse <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

La liste suivante indique la date exacte de publication ainsi que le numéro de version des documents qui sont applicables et elle fait partie intégrante du présent document dans les limites qui y sont prescrites.

N° d'AD	Numéro du document	Titre du document	N° de révision	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Critères d'identification des éléments technologiques critiques	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Technology Roadmap Worksheet (Feuille de route technologique)	A	Sept. 2012
SE-S6-AD-1.	CSA-ESM-RD-0001	Rover to Payload Interface Requirements Document (IRD) (Document sur les exigences en matière d'interface robot mobile/charge utile [DEI]) <i>Remarque : Ce document est applicable et fait partie intégrante du présent document dans les limites qui y sont prescrites.</i> ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/	C	23 sept. 2010

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de révision	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Project Management Institute, Incorporated	4 ^e édition	2008
SE-RD-2.	ESTEC, TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard [Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC]	Rév. A	7 novembre 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices [Méthodes et pratiques de systématique de l'ASC]	Rév. B	10 mars 2010

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de révision	Date
SE-S6-RD-1.	MIL-DTL-38999	Detail Specification Connectors, Electrical, Circular, Miniature, High Density, Quick Disconnect (Bayonet, Threaded, And Breech Coupling), Environment Resistant, Removable Crimp And Hermetic Solder Contacts, General Specification http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-38999L_11330/	L	30 mai 2008

Le document SE-RD-2 se trouve sur le site FTP (transfert de fichiers) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>.

Les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 se trouvent sur le site FTP (transfert de fichiers) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>.

Description de la technologie

Au cours des dix dernières années, et plus particulièrement des cinq dernières années, dans le cadre des projets du plan de stimulation et des activités subséquentes, l'industrie et le milieu universitaire canadiens ont mis au point plusieurs prototypes de rovers terrestres et plusieurs charges utiles sous la direction de l'ASC. En outre, d'autres activités et projets spatiaux en cours ont fait évoluer les systèmes de vision actifs canadiens dans le domaine des rendez-vous et de l'amarrage, de l'atterrissage, ainsi que de la détection et de la navigation des rovers planétaires. Ces progrès récents permettent d'envisager le recours à d'autres solutions que les caméras stéréoscopiques, qui ont servi de capteurs principaux lors de missions telles que Mars Science Laboratory (MSL) et les missions antérieures des rovers martiens Spirit et Opportunity. Malheureusement, ces solutions présentent certaines caractéristiques qui les rendent moins attrayantes que les caméras stéréoscopiques dans le cadre de missions spatiales. Plus particulièrement, la masse, la puissance et le volume des capteurs actifs 3D nécessitent des améliorations importantes pour que ces capteurs soient des candidats intéressants en vue d'une intégration dans des applications d'imagerie, de détection et de télémétrie par laser (LIDaR) destinées à des rovers, des véhicules visiteurs ou des atterrisseurs.

Les travaux antérieurs ont démontré les avantages indéniables de la technologie LIDaR – qu'ils s'agissent de systèmes de balayage rotatif autonomes, d'appareils montés sur un mécanisme à cardan double ou de systèmes mixtes – par rapport aux caméras conventionnelles, notamment en ce qui concerne la prise en charge des ombres statiques et dynamiques, le fonctionnement dans de mauvaises conditions d'éclairage, les obstacles au sol à plus grande portée et l'utilisation de modèles du relief. Les caméras stéréoscopiques et les systèmes LIDaR peuvent tous deux produire des nuages de points 3D; cependant, les conditions d'éclairage ambiant n'ont pas d'incidence sur les systèmes LIDaR, étant donné leur nature intrinsèque.

Jusqu'à présent, l'ASC, l'industrie et le milieu universitaire canadiens ont cherché à faire évoluer la technologie LIDaR existante et à accroître les performances de l'appareil au niveau du balayage et de la

qualité des données. Cependant, ces améliorations se sont généralement faites au détriment de la masse (~ 12 kg), de la consommation d'énergie (~ 150 W) et du volume. Logiquement, la prochaine étape consiste à produire un capteur actif LiDaR capable de rivaliser avec les caméras stéréoscopiques traditionnelles sur les plans du rendement, de la masse, de la puissance et du volume. À titre d'exemple, le rover de la mission Mars Science Laboratory (MSL) comprend deux paires de caméras de navigation installées sur le bloc panoramique basculant (PTU) central, ce qui offre un champ de vision de 360 degrés à une résolution angulaire < 1 mrad/pixel et une portée de 100 m. Chacune des paires de caméras pèse 200 g et consomme 2,2 W d'électricité en moyenne.

La technologie recherchée est par conséquent un capteur LiDaR pouvant rivaliser avec les caméras stéréoscopiques et offrant l'avantage supplémentaire de ne pas être sensible aux conditions d'éclairage ambiant.

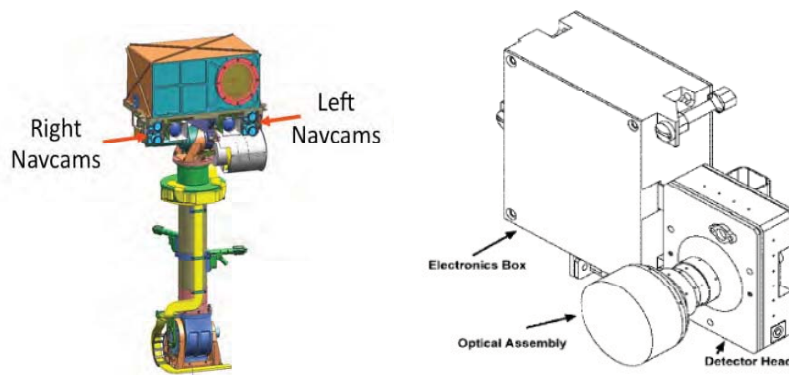


Figure 1 : Caméras de navigation de la mission MSL montées sur le mât de télédétection (RSM)

Pour l'instant, aucune mission précise n'a été identifiée pour l'exploitation d'un tel capteur, mais les environnements visés sont l'orbite basse terrestre (LEO), la Lune et la planète Mars, y compris leurs régions polaires. Ainsi, ces capteurs devront pouvoir résister aux températures ainsi qu'aux conditions atmosphériques et de vide que l'on retrouve dans ces environnements. On prévoit également que les CAST pourraient être adaptés à diverses fins, notamment pour la navigation, les opérations de proximité, l'amarrage et l'atterrissage de rovers. Ces systèmes pourraient être utilisés au cours des opérations de proximité, comme solution de remplacement pour les véhicules qui visitent la Station spatiale internationale (ISS) ou les futures stations orbitales, pour la capture de satellites ou même d'astéroïdes, ou encore pour l'atterrissage sur une planète ou un astéroïde.

Étendue des travaux

L'étendue des travaux définie ici complète la section A.6 « Description générique des tâches » de l'annexe A.

Les travaux consistent à livrer et à mettre à l'essai en laboratoire l'un ou plusieurs des sous-systèmes d'un prototype de capteur actif compact (CAST) et de son équipement de servitude au sol (GSE), y compris le poste de commande à distance (RCS). Ces travaux incluent :

- a. Le perfectionnement du concept de CAST défini dans la proposition;
- b. La validation des technologies critiques proposées qui sont définies dans la proposition;

- c. L'élaboration d'un concept détaillé, en mettant l'accent sur les composantes critiques précisées précédemment, de sorte que le prototype de CAST satisfasse les exigences obligatoires et se rapproche des exigences visées indiquées dans le présent ET, d'abord en laboratoire et ensuite au cours d'un déploiement dans l'environnement terrestre (à une pression normale);
- d. La mise en œuvre des sous-systèmes conçus qui sont mentionnés au point b;
- e. La mise à l'essai et la démonstration en laboratoire du prototype ou des prototypes de sous-système.

En plus des éléments susmentionnés, l'entrepreneur doit évaluer la maturité des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système proposé ainsi que les risques connexes, conformément aux exigences énoncées dans les *Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation* (SE-AD-1). Pour ce faire, il utilisera les feuilles de travail suivantes fournies par l'ASC : Critères d'identification des éléments technologiques critiques (SE-AD-4) et Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) pour chaque élément technologique critique; synthèse à l'aide de l'Outil de consolidation de données de l'évaluation de la maturité technologique et des risques (SE-AD-3). Le rapport d'évaluation de la maturité technologique et des risques doit également décrire les caractéristiques de rendement de la technologie en fonction des besoins de la mission et de l'environnement visé.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique (TRM), qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission, ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route doit être présentée selon le format du document SE-AD-5 (Feuille de route technologique).

L'ASC s'attend à ce que les soumissionnaires proposent un concept de CAST qui se fonde sur les études antérieures ou le travail en cours. Le soumissionnaire doit indiquer dans sa proposition quels sous-systèmes il prévoit élaborer, et en quoi cela permettra au CAST de satisfaire les exigences obligatoires.

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Le prototype de CAST devrait pouvoir rivaliser avec les caméras stéréoscopiques au cours des missions d'exploration futures. On s'attend par conséquent à ce que le prototype offre un rendement comparable à celui d'une caméra stéréoscopique, mais aussi l'avantage d'être actif et insensible aux conditions d'éclairage ambiant. Plus précisément, le prototype de CAST doit utiliser une technologie laser, et l'on doit viser l'atteinte des paramètres de rendement fonctionnel suivants, qui sont décrits plus en détail ci-après :

- Un champ de vision minimal de 50 degrés;
- Une résolution angulaire minimale de 1,5 mrad, permettant d'obtenir une résolution de 512 x 512 voxels;
- Une plage de fonctionnement allant de 0,2 m à 20 m;
- Une résolution en portée minimale de 0,5 %;
- Une fréquence de rafraîchissement de 10 Hz à la résolution maximale de 1,5 mrad, de sorte que l'on obtienne 512 x 512 voxels à une fréquence de 5 Hz;
- Le prototype de CAST doit pouvoir être exploité sans présenter de danger pour la vue.

En ce qui concerne les caractéristiques physiques du prototype de CAST, les attentes sont les suivantes :

- Atteinte d'une masse globale de 1 kg pour le système de CAST opérationnel et d'un objectif minimal de 2 kg pour le prototype visé par les travaux;
- Atteinte d'un volume global de 0,4 litre pour le système de CAST opérationnel et d'un objectif minimal de 1,5 litre pour le prototype visé par les travaux;
- Fonctionnement à une puissance nominale de 5 W ou à une puissance de 10 W ou mieux en ce qui concerne le prototype visé par les travaux.

Les sections suivantes contiennent de plus amples renseignements sur les exigences, les cibles et les objectifs qui s'appliquent au prototype de CAST. À partir d'ici, l'appellation « CAST » désignera le prototype, à des fins de simplicité.

Exigences physiques

OBLIGATOIRE-FNC-01 Portée : Le CAST doit être un capteur actif laser, ou l'équivalent, capable de produire un nuage de points 3D standard.

Remarque : Le prototype de CAST doit être considéré comme un capteur actif. Ainsi, il n'est pas assujéti aux limites optiques associées à la bande visible, telles que les ombres, la variété des conditions d'éclairage, les bavures et les autres contraintes et aberrations optiques, et il peut générer une représentation 3D d'une image sous la forme d'un nuage de points standard.

Exigences physiques

CIBLE-PHY-01 Masse globale : Le CAST devrait avoir une masse globale de 1 kg ou moins.

Remarque : L'objectif consiste à réduire le plus possible la masse. Comme il a été mentionné, la masse visée est inférieure à 1 kg, afin que le prototype puisse rivaliser avec les caméras stéréoscopiques actuelles. La masse du prototype de CAST ne doit pas dépasser 2 kg. Les répercussions de l'utilisation d'un mécanisme panoramique et basculant distinct doivent aussi être abordées; l'objectif est de mettre au point un système intégré autant que possible.

CIBLE-PHY-02 Volume total : Le CAST doit avoir un volume total de moins de 0,4 litre.

Remarque : L'objectif consiste à réduire le plus possible le volume. Comme il a été mentionné, le volume visé est inférieur à 0,4 litre. Un volume maximal de 1,5 l doit être envisagé.

CIBLE-PHY-03 Consommation d'énergie : Lorsqu'il est sous tension, le CAST devrait consommer 5 W de puissance ou moins, sans compter la puissance allouée à l'élément chauffant.

Exigences de rendement

CIBLE-PRF-01 Résolution angulaire en azimuth : Le CAST devrait avoir une résolution angulaire native de 1,5 mrad ou mieux.

Remarque : La résolution doit être d'environ 512 x 512.

CIBLE-PRF-02 Résolution angulaire en élévation : Le CAST devrait avoir une résolution native en élévation de 1,5 mrad ou mieux.

Remarque : La résolution doit être d'environ 512 x 512.

CIBLE-PRF-03 Plage de fonctionnement : Le CAST devrait pouvoir recueillir des données 3D sur une distance allant de 0,2 à 20 m ou mieux.

Remarque : Il s'agit de la portée visée. L'incidence de la plage de fonctionnement sur la technologie de capteur retenue sera évaluée en tenant compte de la résolution, de la vitesse de balayage et de la portée obtenue, afin que le système fourni soit optimal.

CIBLE-PRF-04 **Précision télémétrique** : Le CAST devrait avoir une précision télémétrique native de 0,5 % ou mieux dans des conditions statiques.

CIBLE-PRF-05 **Champ de vision complet (FFoV)** : Le CAST devrait avoir un champ de vision minimal 50°.

CIBLE-PRF-06 **Fréquence de rafraîchissement du FFOV** : Le CAST devrait produire les données MAN natives à une fréquence de rafraîchissement minimale de 10 Hz ou plus aux résolutions angulaires indiquées (azimut : 1,5 mrad et élévation : 1,5 mrad) ou mieux, pour la FFOV.

Justification : L'objectif visé est de permettre l'acquisition de données en déplacement, afin de rendre possibles des applications telles que l'odométrie visuelle.

CIBLE-PRF-07 **Sécurité des lasers** : Il doit être démontré que le laser du CAST est sécuritaire pour la vue. À cette fin, l'entrepreneur doit démontrer qu'il n'existe aucun risque non contrôlé pour la sécurité du personnel au-delà de la distance oculaire critique nominale (DOCM). La DOCM doit être établie.

Justification : Ce système pourrait être commandé depuis le sol au cours de déploiements en milieux analogues, et il pourrait être exploité à bord de l'ISS.

Exigences relatives à l'interface

Les interfaces décrites dans le présent document doivent être compatibles avec les normes actuelles du Programme d'exploration de base (ExCore) élaborées dans le cadre du projet MSE; ces normes figurent dans le document SE-S6-AD-1. Ce document encadrera la définition des composantes d'interface avec le rover et les autres charges utiles. Le système initial de CAST ne sera probablement pas directement relié par interface à un rover ou à une autre charge utile dans le cadre du présent ET. Toutefois, le système doit être conçu en tenant compte du fait qu'il sera relié à l'équipement d'ExCore.

CIBLE-INT-01 **Plaque d'interface plate-forme/charge utile** : Les interfaces mécaniques du CAST devraient être conformes à l'exigence ESM-IRD-IP-001 du document SE-S6-AD-1.

CIBLE-INT-02 **Configuration des boulons de la plaque d'interface** : L'interface mécanique du CAST devrait être conforme à la configuration des boulons M8 décrite au point ESM-IRD-IP-012 du document SE-S6-AD-1.

CIBLE-INT-03 **Puissance d'entrée** : Le CAST devrait fonctionner au moyen d'une tension d'alimentation nominale de 28 V c.c. La tension nominale non stabilisée est de 30 V c.c., et elle peut varier entre 22 et 34 V c.c., conformément aux points ESM-IRD-ELE-003, ESM-IRD-ELE-004 et ESM-IRD-ELE-005 du document SE-S6-AD-1.

Remarque : Il est recommandé que l'alimentation soit fournie par un connecteur mâle 4 pôles avec résistance de terminaison MIL-DTL-38999 (SE-S6-RD-1) D38999/26FC4PN, tel qu'illustré à la figure 2, suivant la disposition des broches indiquée (réf. ESM-IRD-CON-004 de SE-S6-AD-1) et incluant un

serre-câble approprié. Ces exigences visent à assurer la compatibilité éventuelle avec l'équipement standard de l'ASC.

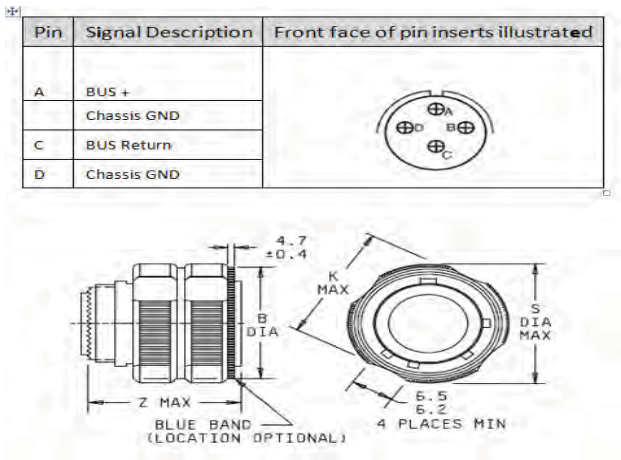


Figure 2 : Connecteur d'alimentation D38999/26 pour relier l'EVO aux prises c.c. de la plate-forme

CIBLE-INT-04 Interface de données : Le CAST devrait utiliser une adresse IP de réseau Ethernet standard, pouvant être reconfigurée, conformément aux exigences ESM-IRD-COM-002 et ESM-IRD-COM-005 du document SE-S6-AD-1.

Remarque : Il est recommandé que le connecteur de l'interface de données corresponde à l'exigence ESM-IRD-CON-010 du document SE-S6-AD-1, tel qu'illustré à la figure3. Cette exigence vise à assurer la compatibilité éventuelle avec l'équipement standard de l'ASC.

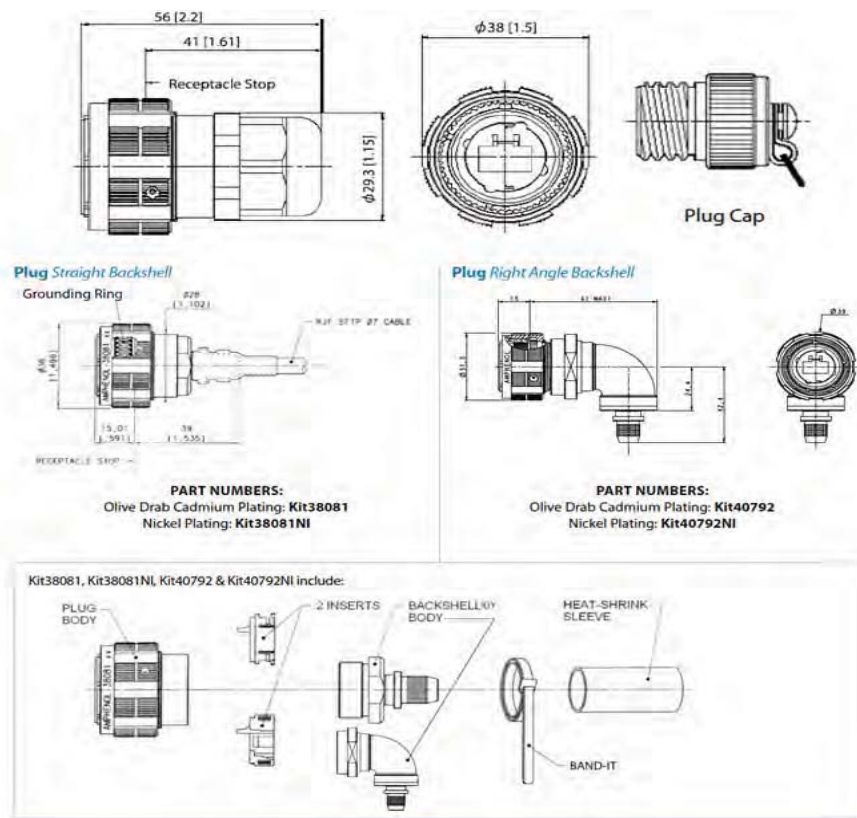


Figure 3 : Connecteur de câble flexible Amphenol RJTV pour le port de communication

- CIBLE-INT-05** **API** : Une interface de programmation d'applications (API) devrait être fournie avec le CAST.
- CIBLE-INT-06** **Langage de programmation de l'API** : L'API devrait être écrite en C/C++ conformément à l'exigence ESM-IRD COM-022 du document SE-S6-AD-1 .
- CIBLE-INT-07** **Fichier d'en-tête de l'API** : L'API devrait prendre la forme d'un en-tête unique ou d'un seul fichier de classe si elle est écrite à l'aide du langage de programmation C++; voir l'exigence ESM-IRD-COM-023 du document SE-S6-AD-1 pour de plus amples renseignements.
- CIBLE-INT-08** **Système d'exploitation cible** : L'API devrait être compatible avec les plateformes Ubuntu 14.04 x86 et x86_64.
- CIBLE-INT-09** **Commandes du CAST** : Toutes les commandes du CAST devraient être accessibles par le biais de l'API conformément à l'exigence ESM-IRD-COM-027 du document SE-S6-AD-1 .
- CIBLE-INT-010** **Fonctions de télémessure du CAST** : Toutes les fonctions de télémessure du CAST devraient être accessibles par le biais de l'API conformément à l'exigence ESM-IRD-COM-028 du document SE-S6-AD-1.

Environnement

Dans le cadre du présent contrat, le CAST sera principalement exploité dans un environnement de laboratoire aux pressions et aux températures de fonctionnement terrestres habituelles. En plus des

essais en laboratoire, il est prévu que le prototype de CAST soit utilisé sur un prototype de rover terrestre dans un site analogue à des températures allant de -10 à +40 °C. La cote IP 54 fait partie des exigences environnementales visées.

La conception et le cheminement jusqu'à la spatioqualification doivent tenir compte du fait que le matériel de vol visé serait utilisé dans des conditions difficiles, comme celles des régions polaires de la Lune ou de Mars, et qu'il serait exposé à de grands écarts de températures, au vide ou à la faible densité de l'atmosphère martienne, ainsi qu'à la poussière magnétique sur Mars ou sur la Lune dans le cadre de missions dont la durée pourrait atteindre 2 ans.

Vérification

Toutes les exigences qui s'appliquent à l'ET doivent être vérifiées avec au moins une des méthodes de vérification suivantes :

- 1) analyse (y compris la simulation);
- 2) examen de la conception;
- 3) démonstration;
- 4) inspection;
- 5) essais.

Ces méthodes sont décrites ci-après. L'entrepreneur est tenu de fournir un plan et des procédures de vérification précis, que devra approuver l'ASC, pour la réalisation de ces activités. Les essais doivent être la principale méthode de vérification utilisée, puis, par ordre de préférence, la démonstration, l'inspection, l'analyse et l'examen de la conception. Parce que la majorité des exigences représentent des cibles, il incombe à l'entrepreneur de préciser le rendement visé au début du contrat par rapport aux exigences et de procéder à sa vérification à la livraison.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). Dans la mesure du possible, l'analyse devrait être fondée sur des données d'essais, comme : l'extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesuré pour déterminer le rendement en fin de vie ou la combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré. L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou seule comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) doivent être sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire doit servir à prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et elle doit définir les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Examen de la conception

Un examen de la conception doit être utilisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception

de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Démonstration

Une exigence de nature opérationnelle ou fonctionnelle qui n'est pas quantifiée par un paramètre particulier mesurable peut être vérifiée dans le cadre d'une démonstration. Cette forme de vérification s'applique aux exigences « oui/non » qui peuvent être vérifiées à l'aide d'une mesure quelconque. Elle sert à démontrer que l'équipement fonctionne selon les exigences ou à vérifier des caractéristiques comme les facteurs humains, les caractéristiques d'ingénierie, les services, les caractéristiques d'accès, la transportabilité, etc.

Inspection

La vérification par inspection est seulement faite lorsque des essais sont insuffisants ou inappropriés. Cette méthode de vérification vise les exigences qui sont normalement vérifiées par une certaine inspection visuelle. Cela comprend l'examen des caractéristiques de construction, de la qualité d'exécution, de l'étiquetage, des exigences liées à l'enveloppe, l'examen des certificats, la conformité aux documents et aux dessins, l'état physique, etc.

Essais

On peut vérifier une exigence uniquement à l'aide d'essais si la forme de la spécification est telle que l'exigence peut être mesurée directement et si l'on prévoit que le rendement ne changera pas pendant la durée de la mission. Si l'on prévoit que le rendement du paramètre va décliner au cours de la mission en raison du vieillissement, du rayonnement, etc., les essais peuvent seulement être utilisés comme méthode de vérification en conjonction avec une des autres méthodes définies ci-dessus.

Échéancier NMT

Pendant la durée du contrat, cette technologie doit atteindre le NMT 3, et l'on visera l'atteinte du NMT 4.

Missions visées

Le contrat vise les futures missions planétaires d'utilisation des ressources in situ et les futures missions scientifiques axées sur la Lune et sur Mars, ainsi que les fonctionnalités de rendez-vous et d'amarrage pour l'ISS et des applications futures.

Produits à livrer

Les produits à livrer énumérés ci-dessous s'ajoutent à ceux de la section A.7 « Réunions et produits à livrer prévus au contrat » de l'annexe A.

Tableau 1 – Produits à livrer

N° CDRL	Produit à livrer	Échéance	Version	N° DID
1.	Présentation pour la réunion de jalon/d'étape	Réunion - 1 semaine	Finale	Format de l'entrepreneur
2.	Dossier de données de revue	M2 (SRR) - 2 semaines M3 (DDR) - 2 semaines M4 (TRR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	Finale Finale Finale Finale	DID-0009
3.	Spécifications du système	M2 (SRR) - 2 semaines M3 (DDR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	VI Finale Mise à jour	Format de l'entrepreneur
4.	Fiches d'évaluation de la maturité technologique et outil de consolidation	M3 (DDR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	Ébauche Finale	DID-0217
5.	Feuille de route technologique	M3 (DDR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	Ébauche Finale	DID-0218
6.	Modèles techniques et analyses	M2 (SRR) - 2 semaines M3 (DDR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	VI Finale Mise à jour	DID-0236
7.	Document de conception	M3 (DDR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	VI Finale	DID-0260
8.	Plan de vérification	M3 (DDR) - 2 semaines M4 (TRR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	Ébauche VI Finale	DID-0262
9.	Procédures d'essai	M3 (DDR) - 2 semaines M4 (TRR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	Ébauche VI Mise à jour	DID-0280
10.	Rapport d'essai	Fin des essais + 1 sem. M5 (FAR) - 2 semaines	VI Finale	DID-0285
11.	Matrice de conformité de vérification	M2 (SRR) - 2 semaines M3 (DDR) - 2 semaines M4 (TRR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	Ébauche VI Mise à jour Finale	DID-0215
12.	Procédures opérationnelles et guide de l'utilisateur	M4 (TRR) - 2 semaines M5 (FAR) - 2 semaines	VI Finale	DID-0301

Calendrier et jalons

Ce développement technologique durera jusqu'à 20 mois.

Tableau 2 – Calendrier et jalons

Jalons	Description	Début	Fin
M1 - RL	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat + 2 semaines (installations de l'entrepreneur)
M2 - SRR	Revue des exigences relatives au système (SRR) (concept, exigences et mise en œuvre proposée)	Fin M1	Attribution du contrat + 3 mois (téléconf.)
M3 - DDR	Revue de conception détaillée (DDR)	Fin M2	Attribution du contrat + 6 mois (installations de l'entrepreneur)
M4 - TRR	Revue d'aptitude aux essais (TRR)	Fin M3	Attribution du contrat + 14 mois (installations de l'entrepreneur)
M5 - Revue de réception finale	Revue de réception finale	Attribution du contrat + 18 mois	Attribution du contrat + 20 mois (ASC)

Technologie Prioritaire 21 (TP 21)

**Imageur auroral dans
l'ultraviolet de pointe à
comptage d'électrons uniques**

Imageur auroral dans l'ultraviolet de pointe à comptage d'électrons uniques

Liste des acronymes

ASC	Agence spatiale canadienne
EMCCD	Dispositif à transfert de charges à multiplication d'électrons
FRT	Feuille de route technologique
LBH	Bandes spectrales Lyman-Birge-Hopfield
NPT	Niveau de préparation de la technologie
TRRA	Évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes
UV	Ultraviolet

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

Les documents applicables ci-dessous peuvent être téléchargés des sites FTP (File Transfer Protocol) suivants : les documents SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 se trouvent dans le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>; le document SE-AD-5 se trouve dans le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	Le 10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	Septembre 2012

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide du référentiel des connaissances en gestion de projet, Project Management Institute	4 ^e édition	2008

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
		Incorporated		
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices	Rév. B	10 mars 2010

On peut obtenir le document AD-5 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

Les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 peuvent être obtenus du site FTP suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

Des images de grande qualité prises à l'aide d'engins spatiaux en orbite à haute altitude amélioreront considérablement les retombées scientifiques des observations aurorales et de la télédétection de la magnétosphère, ce qui approfondira notre compréhension des phénomènes physiques fondamentaux des aurores et des processus du plasma géospatial, et d'évaluer leur impact sur l'environnement terrestre. Des études conceptuelles menées par l'ASC ont démontré que les images aurorales mondiales, acquises à l'aide de l'imageur dans l'ultraviolet à grand champ de vision qui surveille le comportement global de toute la région aurorale à partir d'une orbite à haute apogée, pourraient permettre d'atteindre ces objectifs scientifiques et de révolutionner notre capacité à prévoir les conditions spatiométéorologiques, ce dont la communauté scientifique a grandement besoin. Cette capacité exige d'importants progrès dans les détecteurs, particulièrement en ce qui a trait au rendement quantique dans la région de l'ultraviolet (UV), au rendement à faible bruit, à la sensibilité à des photons uniques et à la tolérance aux rayonnements élevés. C'est pourquoi on s'intéresse beaucoup au développement de grandes matrices de plan focal (FPA) optimisées pour l'UV, qui permettent la détection directe du rayonnement UV, plutôt que d'avoir recours à un certain genre d'intensification, compte tenu des difficultés connexes. Cela rendrait un capteur d'images à FPA optimisé pour l'UV plus léger, plus petit et moins complexe que la plupart des solutions photoémissives (comme le CCD intensifié [ICCD], les détecteurs à matrice de microcanaux [MCP], etc.), et il n'exigerait pas de fortes tensions et de circuits électroniques à haute tension, qui créent toujours des problèmes de fiabilité.

Le but de ce projet est de faire progresser la technologie d'EMCCD de pointe au niveau qui correspond aux exigences de l'imageur auroral UV, que l'on pourra atteindre grâce au choix de la technologie de captation d'UV, à la conception et à la construction d'une maquette fonctionnelle d'une caméra optimisée pour l'UV, et à la caractérisation en laboratoire de la caméra à partir des exigences opérationnelles de l'imageur auroral UV spatial.

Portée des travaux

La portée du travail décrite ici s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A.

Ce développement technologique prioritaire vise à faire progresser un capteur d'imagerie auroral dans l'ultraviolet en ajoutant la sensibilité de comptage de photons uniques à des caméras EMCCD perfectionnées. Cela comprendra le développement de l'ensemble de puces-capteurs EMCCD à sensibilité accrue aux rayons UV, l'optimisation du conditionnement de la matrice de plan focal et les circuits électroniques de contrôle EMCCD en vue d'applications en imagerie aurorale. Le rendement électro-optique de la caméra EMCCD optimisée pour les rayons UV sera vérifié par des essais en laboratoire. On étudiera une technologie à filtres passe-bande UV hautement sélective pour l'imagerie aurorale afin d'offrir une largeur de bande étroite et un blocage hors bande efficace. La réduction anticipée de la masse, du volume, de l'alimentation et de la complexité générale du capteur d'imagerie UV n'aura aucun impact sur les rapports signal/bruit (S/B) déjà démontrés, comme on en fera la démonstration dans le cadre de l'analyse technique.

Les principaux éléments sont les suivants:

WP-1 Analyse technique et acquisition de la technologie EMCCD optimisée pour les rayons UV

- Analyse des exigences et des scénarios opérationnels de l'imageur UV
- Analyse de l'architecture de l'appareil et identification des principaux paramètres de rendement
- Élaboration des spécifications préliminaires de l'appareil
- Discussion des spécifications préliminaires avec le fabricant de l'appareil (e2V), établissement d'un équilibre entre les exigences et les capacités de fabrication
- Choix du processus d'optimisation pour les rayons UV et du fournisseur de services
- Préparation des spécifications finales de l'appareil
- Acquisition d'un appareil EMCCD optimisé pour les rayons UV

WP-2 Analyse technique de la technologie de filtres UV

- Analyse des exigences de l'instrument de l'imageur UV
- Élaboration d'une conception et de spécifications préliminaires pour la matrice de plan focal (détecteur et conditionnement) avec filtres
- Discussion des spécifications préliminaires avec des fabricants potentiels, établissement d'un équilibre entre les exigences et les capacités de fabrication
- Préparation des spécifications finales des filtres
- Analyse des compromis de diverses options pour atteindre la couverture spectrale voulue
- Examen du rapport et des recommandations

WP-3 Conception technique

- Analyse et mise à jour de la conception des circuits électroniques de la caméra, choix des composants et analyse de la conception du conditionnement en vue d'accommoder l'appareil EMCCD optimisé pour les rayons UV
- Conception d'interfaces pour l'ensemble de puces-capteurs optimisé pour les rayons UV
- Analyse optique, thermique, mécanique et structurale de la caméra optimisée pour les rayons UV

WP-4 Fabrication des circuits électroniques de la caméra

- Acquisition des pièces et des composants
- Fabrication des circuits imprimés
- Fabrication du contrôleur de caméra
- Mise à jour/développement des logiciels du contrôleur
- Essais et débogage électriques et fonctionnels du système

WP-5 Développement de la maquette fonctionnelle de la caméra EMCCD optimisée pour les rayons UV

- Intégration d'un appareil EMCCD optimisé pour les rayons UV et des circuits électroniques pour en faire un système d'imagerie
- Exécution d'essais électriques et fonctionnels
- Optimisation des paramètres de rendement clés (CIC, courant d'obscurité, ETC, bruit de lecture, etc.)
- Élaboration des exigences pour les essais aux rayons UV et identification de l'installation utilisée pour les essais aux rayons UV

WP-6 Mise à l'essai

- Élaboration d'un plan d'essai à partir des scénarios opérationnels de l'imageur auroral aux rayons UV
- Prise de mesures de sources de rayons UV représentatives en modes analogique et de comptage de photons
- Optimisation des paramètres du système d'imagerie pour une acquisition de données qui correspond aux scénarios opérationnels de l'instrument
- Collecte et analyse des données
- Préparation d'un rapport d'essai détaillé

L'entrepreneur doit évaluer la maturité des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système proposé ainsi que les risques connexes, conformément aux exigences qui sont indiquées dans les Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation (SE-AD-1), à l'aide des feuilles de travail fournies par l'ASC – la Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC) (SE-AD-4) et la Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) pour chaque ETC – il doit faire la consolidation avec l'Outil de consolidation de données d'Évaluation de la maturité technologique et des risques (SE-AD-3), et il doit décrire les caractéristiques de rendement de la technologie en ce qui a trait aux besoins de la mission visée dans l'environnement voulu.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique, qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route technologique doit être livrée selon le format de la Feuille de route technologique (SE-AD-5).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

L'imageur auroral dans l'ultraviolet de pointe à comptage d'électrons uniques offrira des observations à grandes résolutions spatiale et temporelle de tout l'ovale auroral, en combinaison avec des charges utiles de missions d'imagerie optique à bord d'engins spatiaux placés en orbite quasi polaire très elliptique à haute altitude pour assurer une couverture efficiente des hautes latitudes. L'instrument devra permettre de prendre des mesures quantitatives des deux bandes spectrales Lyman-Birge-Hopfield (LBH) adjacentes : la bande « courte » (LBH-S), de 140 à 160 nm, et la bande « longue » (LBH-L), de 160 à 180 nm, ainsi qu'un chevauchement minimum entre les deux bandes. La réponse spectrale du système aux longueurs d'ondes supérieures à 350 nm doit être de 10^{-10} de la réponse maximum dans la bande pour les canaux LBH-S et LBH-L. L'instrument devrait satisfaire les requis principaux énumérés au tableau 1.

Tableau 1. Exigences de rendement d'un imageur auroral dans l'ultraviolet

Paramètre	Besoin
Résolution spatiale	Empreinte de 30 km x 30 km
Champ de vision pour une couverture complète	$20^\circ \pm 1^\circ$
Bande passante	140 à 180 nm, ce qui comprend les émissions Lyman-Birge-Hopfield (LBH) de N_2 moléculaire (140 à 160 pour les gammes LBH courtes et 160 à 180 pour les gammes LBH longues)
Temps d'intégration	0,1 à 60 s
Seuil de détection (les deux bandes)	20 R*
Niveau de saturation minimum	30000 R*
Rapport signal sur bruit	Supérieur à 1 (cible : 2) au seuil de détection (20 R*) à la résolution spatiale requise et avec une cadence d'image minimale de 20 s

* De façon conventionnelle, l'intensité aurorale est exprimée selon l'intensité de la plus forte raie d'émission de la bande spectrale exprimée en Rayleigh, où 1 Rayleigh (1R) correspond à 10^6 photons $s^{-1} \times cm^{-2}$, émettant dans $4\pi sr$.

Le détecteur optimisée pour les rayons UV devra satisfaire le requis d'atteindre un rendement quantique > 30 % dans la région spectrale de 140 à 180 nm, tout en maintenant les paramètres de rendement clés du système d'imagerie EMCCD existant, énumérés au tableau 2.

Tableau 2. Exigences de rendement du capteur EMCCD

Paramètre	Besoin
Format de la matrice	1024 x 1024 pixels
Bruit d'injection de charge (CIC)	< 0,001 e-/s
Bande passante	140 à 190 nm
Courant d'obscurité	< 0,001 e-/s
Gain EM du contrôleur de la caméra	> 3000 (jusqu'à 5000)
Gamme dynamique	> 42 dB

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 4 pendant la durée du contrat.

Missions visées

Des missions d'imagerie aurorale à bord d'engins spatiaux placés en orbite quasi polaire très elliptique à haute altitude pour assurer une couverture efficace des hautes latitudes.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici complètent la Section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

- Spécification des appareils optimisés pour les rayons UV et le NIR
- Résultats de l'analyse technique de l'impact d'un appareil EMCCD optimisé pour les rayons UV et le NIR sur la conception de la caméra
- Documentation de conception des circuits électroniques
- Procédures de fabrication
- Plan d'intégration
- Plans et procédures d'essai
- Conceptions de contrôle d'interfaces électriques et mécaniques
- Rapports d'essai
- Une (1) maquette fonctionnelle autonome d'un système d'imagerie UV-EMCCD avec circuits électroniques de contrôle et logiciels d'acquisition de données
- Présentations PowerPoint
- Rapports d'étape et rapport final

Échéancier et jalons

Ce développement technologique durera jusqu'à 24 mois.

Tableau 3 – Échéancier et jalons

Jalons	Description	Début	Achèvement
M1	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 2 semaines
M2	Analyse technique terminée d'un appareil EMCCD optimisé pour les rayons UV et de filtres UV. Les éléments technologiques critiques et les fournisseurs ont été choisis et des prix d'achat ont été négociés avec les fournisseurs.	Attribution du contrat	Attribution du contrat plus 2 mois
M3	Conception technique terminée d'une caméra EMCCD optimisée pour les rayons UV. La Réunion d'autorisation des travaux sera organisée pour examiner la conception. Si la revue est réussie, l'entrepreneur procédera à l'acquisition des éléments technologiques critiques.	Attribution du contrat plus 2 mois	Attribution du contrat plus 4 mois
M4	Fabrication terminée des contrôleurs de caméra UV et NIR	Attribution du contrat plus 4 mois	Attribution du contrat plus 9 mois
M5	Développement terminé d'une maquette fonctionnelle d'une caméra EMCCD optimisée pour les rayons UV	Attribution du contrat plus 9 mois	Attribution du contrat plus 15 mois
M6	Caractérisation, mise au point, débogage, optimisation et essais de rendement du système terminé	Attribution du contrat plus 15 mois	Attribution du contrat plus 21 mois
M7	Analyse des données d'essai terminée. Les présentations et les rapports finaux ont été préparés et livrés à l'ASC pour examen au moins 2 semaines avant la réunion de revue finale.	Attribution du contrat plus 21 mois	Attribution du contrat plus 23 mois
Examen final	Présentation à la réunion de revue finale	Attribution du contrat plus 24 mois	Attribution du contrat plus 24 mois

Technologie Prioritaire 22 (TP 22)

Appareil d'imagerie plasma miniature

Appareil d'imagerie plasma miniature

Liste des sigles et acronymes

ASC	Agence spatiale canadienne
CEFI	Instrument canadien de mesure des champs électriques
ITAR	International Traffic in Arms Regulation
LEO	Orbite basse terrestre
NPT	Niveau de préparation de la technologie
FRT	Feuille de route technologique
TRRA	Évaluation de la maturité technologique et des risques

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

On peut obtenir les documents pertinents énumérés ci-dessous à partir de sites FTP (File Transfer Protocol) comme suit : Les documents SE-AD-1, SE-AD-2, SE-AD-3 et SE-AD-4 se trouvent à l'adresse <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/> et le document SE-AD-5 se trouve à l'adresse <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-AD-1.	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B	14 février 2014
SE-AD-2.	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E	29 juillet 2013
SE-AD-3.	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G	10 mars 2014
SE-AD-4.	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC)	A	11 mars 2014
SE-AD-5.	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de route technologique	A	septembre 2012

Documents de référence

Cette section énumère des documents qui contiennent des renseignements additionnels qui peuvent être utiles pour le soumissionnaire, mais qui ne sont pas obligatoires pour la préparation de la proposition.

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
----------	--------------------	-------------------	------------	------

N° de RD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.	Date
SE-RD-1.	Guide PMBOK	Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®, ou guide du référentiel des connaissances en gestion de projet)	4 ^e édition	2008
SE-RD-2.	ESTEC TEC-SHS/5574/MG/ap	Technology Readiness Levels Handbook for Space Applications (anglais seulement)		Mars 2009
SE-RD-3.	CSA-SE-STD-0001	CSA Systems Engineering Technical Reviews Standard (Norme d'examen technique pour l'ingénierie des systèmes de l'ASC)	Rév. A	7 nov. 2008
SE-RD-4.	CSA-SE-PR-0001	CSA Systems Engineering Methods and Practices (Méthodes et pratiques de systématique de l'ASC)	Rév. B	10 mars 2010

On peut obtenir le document SE-RD-2 dans le site FTP (File Transfer Protocol) suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>.

Les documents SE-RD-3 et SE-RD-4 peuvent être obtenus depuis le site FTP suivant : <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/SE-STD/>

Description de la technologie

Il est possible de déterminer le champ électrique de l'orbite basse terrestre (LEO) en mesurant la vitesse de dérive des électrons ou des ions, comme le fait le l'Instrument canadien de mesure des champs électriques (CEFI) dans l'engin spatial Swarm de l'ESA. En réduisant la taille des capteurs, on pourrait les installer sur des nanosatellites, ce qui permettrait d'envisager la possibilité de missions visant à mieux connaître les rouages de l'ionosphère.

L'ASC cherche des solutions qui permettront de réduire la taille, la complexité et la consommation d'énergie des instruments de détection de champs électriques à basse fréquence tout en les rendant plus fiables. Le résultat doit être un prototype qui peut être mis à l'essai en laboratoire.

Portée des travaux

Les travaux à effectuer doit comprendre notamment la fabrication d'un prototype basé sur une version modifiée du modèle de CEFI actuel, la mise à l'essai du prototype en caisson à vide et sous bombardement ionique et l'amélioration du prototype, s'il y a lieu.

Les tâches suivantes doivent être exécutées:

LT-1 – Analyse technique et acquisition des pièces nécessaires pour fabriquer le prototype.

- Déterminer ce qu'il faut pour obtenir des images du plasma dans l'orbite basse terrestre.
- Analyser l'architecture de l'appareil et recenser les paramètres clés de son fonctionnement.
- Établir les critères de performance du prototype.
- Définir les spécifications des composants du prototype.

- Acheter le matériel nécessaire pour fabriquer le prototype, en évitant dans la mesure du possible les composants/technologies/processus soumis à des restrictions par la réglementation ITAR.
- Mettre à l'essai les composants en fonction des spécifications exigées.
- Mettre sur pied une procédure d'essai en laboratoire qui représente bien l'environnement de l'orbite basse terrestre.

LT-2 – Assemblage du prototype

- Assembler le prototype.
- Développer l'interface informatique et le logiciel de communication avec le prototype.
- Effectuer les essais électriques et les tests de fonctionnement.
- Procéder aux essais préliminaires du système en laboratoire.

LT-3 – Essais sous vide

- Établir les exigences des essais en caisson à vide, en s'assurant d'y inclure la possibilité d'utiliser une source de plasma.
- Trouver un caisson à vide qui répond à ces exigences.
- S'assurer que le caisson à vide choisi répond bien aux exigences d'essai.
- Procéder à l'essai du prototype dans l'environnement sous vide jugé conforme aux exigences.
- Optimiser les paramètres clés permettant de régler le fonctionnement de l'appareil.

LT-4 – Essai de la source de plasma

- Établir les exigences nécessaires à l'essai d'une source de plasma à énergies diverses dans un caisson à vide.
- Trouver une source de plasma qui répond aux exigences établies dans la procédure d'essai (LT-1).
- S'assurer que la source de plasma répond bien aux exigences d'essai.
- Étalonner la source de plasma dans le caisson à vide.
- Optimiser les paramètres clés afin d'obtenir les meilleurs résultats possible.

LT-5 — Essais

- Élaborer un plan d'essai d'après des scénarios fonctionnels de mesure du champ électrique en orbite basse terrestre.
- Procéder aux mesures de la source de plasma représentative.
- Optimiser les paramètres du prototype d'imagerie du plasma pour que la collecte de données soit conforme aux scénarios de fonctionnement de l'instrument.
- Caractériser le prototype.
- Recueillir, réduire et analyser les données.

- Préparer un rapport détaillé des essais.

L'entrepreneur doit effectuer une Évaluation de la maturité technologique et des risques (TRRA) des technologies clés qu'il compte utiliser dans le système proposé conformément aux exigences des *Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation* (SE-AD-1). Pour ce faire, il doit utiliser les fiches fournies par l'ASC, soit la *Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques* (ETC) (SE-AD-4) et la *Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique* (SE-AD-2) pour chaque ETC et préparer une synthèse à l'aide de l'Outil de consolidation de données pour l'évaluation de la maturité technologique et des risques (SE-AD-3). En outre, il doit fournir une description des caractéristiques de performance de la technologie par rapport aux besoins de la mission ciblée et en fonction de l'environnement prévu.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique, qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la mission ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route technologique doit être présentée dans le format de la *Feuille de route technologique* (SE-AD-5).

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Les capacités du prototype d'appareil miniature d'imagerie plasma doivent être comparables avec les technologies semblables de taille/complexité plus grande qui existent à l'heure actuelle, par exemple l'Instrument canadien de mesure des champs électriques (CEFI), tout en ayant comme objectif de se conformer aux exigences d'une configuration nanosatellites. Les appareils de mesure des champs électriques (CEFI) de Swarm ont une masse de 6,6 kg, exigent environ 10 W d'électricité et ont un volume d'à peu près 30 x 30 x 30 cm. Le capteur du CEFI pèse 500g et mesure 12x5x5 cm. On s'attend à une réduction importante de ces propriétés.

OBLIGATOIRE-FNC-01	Le prototype doit avoir une masse estimée au plus à 3 kg
OBLIGATOIRE-FNC-02	Le capteur du prototype doit avoir une masse estimée au plus à 300 g
OBLIGATOIRE-FNC-03	Le prototype doit avoir une consommation de puissance électrique d'au plus 7 W.
OBLIGATOIRE-FNC-04	Le prototype doit avoir un volume d'au plus 30x 10 x 10 cm
OBLIGATOIRE-FNC-05	Le capteur du prototype doit avoir un volume d'au plus 5x5x5 cm
OBLIGATOIRE-FNC-06	Le prototype doit rencontrer les performances minimum de CEFI. Le CEFI mesure la vitesse des ions avec une précision de 10 cm/s et une acuité de 200 m/s pour des densités de particules supérieures à 10^5 particules/cm ³ . Ceci s'applique à des particules arrivant à l'intérieur d'un cône d'un angle total de 45 degrés.

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le niveau 5 pendant la durée du contrat.

Missions visées

Mission en orbite basse terrestre, possiblement sous forme d'ensemble de nanosatellites capables de mesurer simultanément des champs électriques avec une grande résolution spatiale.

Produits à livrer

Les produits à livrer définis ici s'ajoutent à ceux de la section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A.

- Spécifications des appareils du prototype d'imagerie plasma miniature
- Résultats de l'analyse technique
- Documents de conception électronique
- Procédures de fabrication
- Plan d'intégration
- Plans et procédures d'essai
- Documents de conception de l'interface de commande électrique et mécanique
- Rapports d'essai
- Un (1) prototype autonome du système équipé de circuits électroniques de commande et d'un logiciel de collecte de données

Jalons

Le développement technologique durera jusqu'à 24 mois. Voici la liste des jalons suggérés que le soumissionnaire pourra utiliser comme point de départ de sa proposition; il doit ensuite y ajouter un échéancier réalisable.

Tableau 1 – Étapes1

Jalons	Description
M1	Début/réunion de lancement
M2	Analyse technique du prototype d'appareil d'imagerie plasma miniature
M3	Conception technique du prototype (tenue aussi de la réunion d'autorisation des travaux)
M4	Fabrication des composants
M5	Assemblage du prototype
M6	Caractérisation, mise au point, débogage, optimisation et essai du système
M7	Analyse des données d'essai et préparation des rapports d'essai
M8	Préparation des rapports finaux et des présentations
Examen final	Présentation à la réunion d'examen final

Technologie Prioritaire 23 (TP 23)

Développement d'un concept d'ALI

Développement d'un concept d'ALI

Liste des acronymes

ALI	Imageur des aérosols du limbe
AOTF	Filtre syntonisable acousto-optique
FOV	Champ de vision
FRT	Feuille de route technologique
HTBS	Haute troposphère/basse stratosphère
InGaAs	Arséniure d'indium et de gallium
ITAR	International Traffic in Arms Regulation
LEO	Orbite basse terrestre
MCT	Mercuré-Cadmium-Tellurure
NIR	Proche infrarouge
NMT	Niveau de maturité technologique
RF	Radiofréquence
S/B	Rapport signal/bruit
SWIR	Infrarouge de courte longueur d'onde
TRRA	Évaluation du niveau de maturité de la technologie et des risques connexes
vis-GaAs	Visible-Gallium-Arséniure

Documents applicables

Cette section énumère les documents dont le soumissionnaire aura besoin pour préparer sa proposition.

On peut se procurer les documents applicables ci-dessous dans les sites FTP (File Transfer Protocol) suivants : SE-AD-1, SE- AD-2,SE- AD-3 et SE-AD-4 se trouvent dans le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRRA/>; SE-AD-5 se trouve dans le site <ftp://ftp.asc-csa.gc.ca/users/TRP/pub/TRM/>.

N° AD	Numéro du document	Titre du document	N° de rév.
AD-1	CSA-ST-GDL-0001	Lignes directrices de l'ASC sur les niveaux de maturité technologique et leur évaluation	B
AD-2	CSA-ST-FORM-0001	Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique	E
AD-3	CSA-ST-RPT-0002	Évaluation de la maturité technologique et des risques, Outil de consolidation de données	G
AD-4	CSA-ST-FORM-0003	Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques	A
AD-5	CSA-ST-RPT-0003	Feuille de travail sur la feuille de route technologique	A

Documents de référence

Il n'existe aucun document de référence.

Description de la technologie

L'imageur des aérosols du limbe (ALI) est un spectromètre imageur qui, prévoit-on, conviendra à une plateforme de microsatellite en orbite basse terrestre (LEO) qui mesure la lumière diffusée par le limbe afin de résoudre verticalement les profils d'aérosols dans la haute troposphère/basse stratosphère (HTBS). L'instrument est d'abord consacré à la mesure des aérosols stratosphériques, y compris les sulfates liquides de moins d'un micron ($\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}$), ainsi que d'aérosols d'origine volcanique, anthropogénique et biogénique. De plus, l'ALI est conçu de façon à mesurer les cirrus infravisuels, qui ont un effet important sur le bilan énergétique mondial et qui sont liés à la vapeur d'eau stratosphérique. Ces nuages de cristaux de glace en haute altitude sont minces, optiquement et verticalement, mais ils sont vastes horizontalement, particulièrement dans les tropiques.

Les mesures spectroscopiques de l'instrument ALI sont rendues possibles par un filtre syntonisable acousto-optique (AOTF) permettant de recueillir des informations spectrales dans les parties du proche infrarouge (NIR) et de l'infrarouge de courte longueur d'onde (SWIR) du spectre. Des développements technologiques ont été entrepris par l'Université de la Saskatchewan et financés, en partie, par le programme FAST de l'ASC, y compris une démonstration récente à bord d'un ballon stratosphérique en septembre 2014. La conception actuelle de l'instrument fait appel à une conception optique télescopique qui recrée l'image de l'ouverture de l'instrument sur l'AOTF. Une onde stationnaire est générée dans l'AOTF quand l'impulsion de radiofréquence (RF) traverse le cristal, ce qui provoque la diffraction d'une longueur d'ondes particulière de la lumière incidente et permet l'acquisition d'une image monochromatique d'une seule polarisation linéaire par une matrice de plan focal 2D (FPA). On reconstitue le spectre en faisant varier la fréquence de l'impulsion RF et de l'onde stationnaire connexe, et en causant la diffraction séquentielle de différentes bandes spectrales de la lumière incidente. Cela permet à l'instrument ALI d'obtenir des images spectroscopiques à haute résolution spatiale (profil vertical, échantillonnage longitudinal) du limbe atmosphérique.

Portée des travaux

La portée des travaux définis aux présentes s'ajoute à la section A.6 Description générique des tâches de l'annexe A, et elle vise l'avancement de la conception optique, optomécanique et électrique de l'instrument ALI. Les principales motivations de cette technologie prioritaire seront d'optimiser l'instrument ALI dans une architecture qui convient à un instrument spatial compact. Cela doit inclure une gamme d'études des différentes options afin de maximiser les retombées scientifiques potentielles de l'instrument, tout en minimisant l'allocation des ressources de l'instrument et en respectant des contraintes typiques d'une plateforme de microsatellite. Après les activités de conception préliminaire liées aux systèmes optiques et électriques, une conception optique et optomécanique détaillée doit être élaborée pour l'approche adoptée, y compris une démonstration préliminaire de la compatibilité avec une plateforme de microsatellite actuelle ou offerte commercialement. De plus, on doit tracer dans le cadre de ce contrat le cheminement vers la construction d'un modèle de vol et cerner les risques liés au développement.

La portée des travaux se définit comme suit :

a. Définition des besoins :

Cette activité vise à déterminer un ensemble initial d'exigences au niveau de l'instrument pour l'ALI. Elle doit comprendre un bref examen de la conception existante et des exigences connexes du présent document. Une ébauche de document des exigences doit être rédigée et soumise à l'approbation de l'autorité technique. Au besoin, cette tâche doit servir à identifier clairement les exigences manquantes de l'énoncé de travail actuel, ainsi qu'à préciser comme il se doit et à dresser la liste des exigences énumérées dans ce document, y compris un ensemble nominal d'allocations de ressources qui convient à la mise en œuvre de l'instrument à bord d'un microsatellite.

b. Conception préliminaire :

Pour les activités de conception préliminaire, on doit assumer que l'instrument ALI est installé à bord d'un microsatellite placé sur une orbite LEO héliosynchrone crépusculaire à une altitude de 600 km (à confirmer). Ces activités de conception préliminaire doivent aborder les études des différentes options suivantes :

- Une étude doit être menée pour évaluer les options de conception télécentrique et télescopique.
- Une étude doit être menée sur l'utilisation d'éléments optiques réfléchissants ou réfractifs.
- Au minimum, l'ALI doit être optimisé de façon à mesurer une seule polarisation linéaire de la lumière incidente. Une étude doit être menée pour examiner les approches potentielles visant à mesurer les deux polarisations de la lumière (soit successivement ou simultanément, les deux sont considérées comme des options viables) tout en maintenant la distinction entre les deux polarisations orthogonales.
- Une étude doit être menée pour maximiser le FOV transversal de façon à tenter de minimiser les lacunes entre deux traces au sol successives d'un satellite.
- Il faut mener une étude des technologies de détecteurs disponibles et convenables. Cette étude doit porter au moins sur les technologies visible-gallium-arséniure (vis-GaAs), arséniure d'indium et de gallium (InGaAs) et mercure-cadmium-tellure (MCT). L'étude doit inclure au moins l'identification de fournisseurs potentiels, les restrictions liées à la réglementation ITAR, l'expérience spatiale, les activités de qualification anticipées, la nécessité de refroidir le détecteur, les formats de capteurs disponibles et le rendement, le coût et l'impact connexes sur la gamme spectrale de l'ALI, et les retombées scientifiques connexes. Cette étude doit donner un détecteur de base pour l'instrument ALI et inclure une évaluation préliminaire du cheminement en vue de la création d'un modèle de vol.
- Un examen des technologies d'AOTF applicables et appropriées doit être effectué. Au minimum, cet examen doit inclure l'identification des fournisseurs potentiels, l'expérience spatiale, les activités de qualification anticipées, le rendement possible actuel (p. ex. matériaux, ouverture, angles d'admission, transmission, efficacité de la diffraction, gamme spectrale), le coût et l'impact sur la gamme spectrale de l'ALI, et les retombées scientifiques connexes. Cet examen doit donner une technologie d'AOTF de base pour l'instrument ALI et inclure une évaluation préliminaire du cheminement en vue de la création d'un modèle de vol.
- Une évaluation de l'impact des différents buts et différentes exigences minimales énumérés dans ce document et élaborés à la suite de l'activité de définition des exigences déjà décrite.

Une fois ces études des différentes options terminées, l'ébauche de document des exigences sera mise à jour et soumise à l'approbation de l'autorité technique. De plus, on devra élaborer une conception optique et électrique préliminaire de l'instrument ALI incorporant la combinaison choisie de capteur, d'AOTF, de FOV et de mesure de la polarisation. Cela doit inclure une évaluation préliminaire du cheminement en vue de la création d'un modèle de vol pour tous les composants optiques, optoélectroniques et électroniques exigés, ainsi qu'une évaluation préliminaire de la conformité au document des exigences, en fonction des meilleures estimations actuelles.

c. Conception détaillée :

Pour les activités de conception détaillée, on doit supposer que l'instrument ALI est installé à bord d'un microsatellite placé sur une orbite LEO héliosynchrone crépusculaire à une altitude de 600 km (à confirmer). La conception détaillée doit inclure les systèmes optiques, optoélectroniques et optomécaniques, dans laquelle la conception électrique doit seulement être assez détaillée pour faire des estimations fiables des allocations des ressources pour l'instrument, et elle doit comprendre l'identification et l'évaluation des composants clés et des risques connexes liés à l'environnement LEO.

L'activité de conception détaillée doit aussi fournir une évaluation préliminaire de la possibilité d'installer l'instrument ALI sur une plateforme de microsatellite actuelle ou offerte commercialement.

La conception détaillée de l'instrument ALI doit être justifiée par les éléments suivants :

- détermination de la scène nominale sur la bande passante de l'instrument et du rapport signal/bruit (S/B) anticipé, compte tenu de l'échantillonnage spectral et spatial exigé. Cela doit inclure l'optimisation de l'ouverture de l'instrument;
- conception optique, y compris un tracé des rayons en Code V ou Zemax;
- analyse des tolérances et rendement prévu du système dans sa forme finale;
- modélisation de la résolution spectrale atteignable et de la résolution spatiale pour le système dans sa forme finale;
- analyse de la lumière parasite et conception détaillée de l'écran solaire;
- conception optomécanique détaillée;
- estimation des ressources (masse, alimentation, volume, débits de données);
- logement préliminaire dans un microsatellite – vérifier l'allocation des ressources;
- OGA des coûts;
- évaluation de la conformité;

d. Feuille de route NMT :

L'entrepreneur doit évaluer la maturité des technologies clés que l'on compte utiliser dans le système proposé ainsi que les risques connexes (TRRA), conformément aux exigences des lignes directrices de l'ASC sur l'évaluation des risques et des niveaux de maturité technologique [AD-1] , au moyen des feuilles de travail fournies par l'ASC – la Feuille de travail sur les critères d'identification des éléments technologiques critiques (ETC) (SE-AD-4) et la Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (SE-AD-2) pour chaque ETC – faire la consolidation à l'aide de l'Outil de consolidation de données pour l'Évaluation de la maturité technologique et des risques (SE-AD-3), et décrire les caractéristiques de performance de la technologie en ce qui a trait aux besoins de la mission ciblée dans l'environnement donné.

L'entrepreneur doit fournir un plan de développement technologique, aussi appelé feuille de route technologique (FRT), qui comprend une description des développements technologiques requis pour répondre aux besoins de la charge utile, ainsi qu'un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8. La feuille de route doit également être présentée selon le format de la feuille de route technologique [AD-5]. L'objectif est de bien comprendre où nous en sommes sur le plan technologique dans la création de ce système, ainsi que de voir à quoi ressemble le cheminement vers la création d'un modèle de vol, ses différentes phases et le coût et l'échéancier pour la mise en œuvre.

Caractéristiques fonctionnelles et exigences liées au rendement

Dans les paragraphes ci-dessous, on discute de la configuration actuelle de l'instrument ALI que l'on doit utiliser comme données d'entrée pour les activités de conception préliminaire de ce contrat. Les paragraphes ci-après présentent aussi un ensemble d'exigences.

Aperçu du concept

L'instrument ALI est basé sur un filtre syntonisable acousto-optique (AOTF) permettant une imagerie spectroscopique à haute résolution spatiale du limbe atmosphérique dans les parties NIR et SWIR du spectre. La combinaison de polariseurs linéaires et d'un AOTF permet de mesurer la lumière polarisée d'une seule bande spectrale étroite, où l'illumination non diffractée restante tombe sur un obturateur optique. On fait varier la longueur d'ondes de la lumière polarisée monochromatique de façon séquentielle, conformément à

la fréquence de l'impulsion RF d'entrée dans l'AOTF, ce qui permet l'acquisition d'information spectrale dans le cube de données reconstitué.

Comme on l'a déjà mentionné, la mise en œuvre actuelle de l'instrument ALI utilise une conception télécentrique où l'image à la pupille d'entrée est recrée sur l'AOTF diffractant. Le principal avantage de cette approche est qu'il n'y a aucune variation importante de l'emplacement du plan d'image par rapport à la longueur d'ondes (ce qui minimise la couleur longitudinale), permettant ainsi la saisie d'images à haute résolution spatiale dans toute la bande passante de l'instrument. Cependant, on prévoit qu'il y aura une petite variation dépendant de la longueur d'ondes dans l'agrandissement, ainsi qu'un petit gradient spectral dans les images ainsi obtenues. Un tracé des rayons indicatif pour la mise en œuvre télécentrique de l'instrument ALI est présenté à la figure 1. On y voit trois lentilles, un obturateur de champ, deux polariseurs linéaires, l'AOTF et un détecteur.

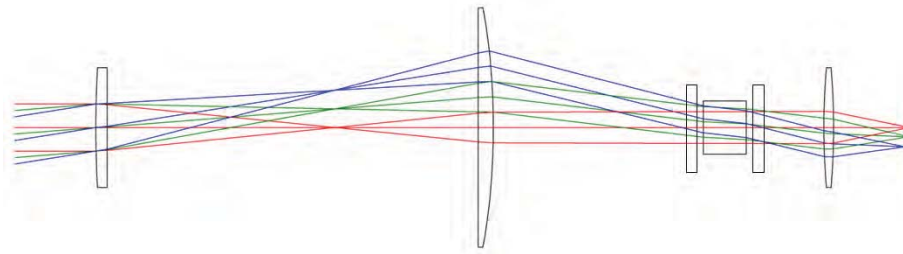


Figure 1 : Tracé des rayons télécentrique de l'ALI

D'autres conceptions télescopiques, où une image intermédiaire est formée dans l'AOTF, éliminent le gradient spectral au coût de la couleur longitudinale dans l'image finale. Cela est le résultat direct de la nature dispersive de l'AOTF (généralement du TeO_2). À titre indicatif, un autre tracé des rayons télescopique est illustré à la figure 2.

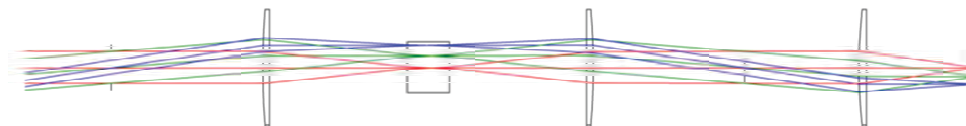


Figure 2 : Tracé des rayons télescopique de l'ALI

Lorsque l'on songe à la diffusion à large bande associée aux mesures d'aérosols et aux exigences connexes modestes en ce qui a trait à la résolution spectrale, on estime que le petit gradient spectral découlant de la conception télécentrique est acceptable et c'est l'approche préférée pour le moment. Essentiellement, cela favorise la résolution spatiale plutôt que la résolution spectrale.

Exigences

Les exigences pour l'instrument ALI sont énumérées ci-dessous. Elles devront être confirmées après les activités de définition des besoins et de conception préliminaire.

Exigences physiques

PHY-001 Compatibilité avec un microsatellite :

L'allocation des ressources de l'instrument ALI doit être compatible avec une plateforme de microsatellite.

Exigences de rendement

PRF-001 Résolution verticale :

La résolution verticale (altitude) sur la tangente du limbe atmosphérique doit être de 0,25 km (seuil) et devrait être de 0,10 km (but).

PRF-002 Portée verticale :

La portée verticale (altitude) sur la tangente du limbe atmosphérique doit être de 10 à 40 km.

PRF-003 Gamme spectrale :

La gamme spectrale doit être de 1000 nm à 1500 nm (seuil) et devrait être de 750 nm à 1500 nm (but).

PRF-004 Résolution spectrale :

La résolution spectrale doit être supérieure à 10 nm (seuil) et devrait être supérieure à 5 nm (but).

PRF-005 Rapport signal/bruit :

Le rapport signal/bruit (S/B) doit être supérieur à 200 dans la longueur d'ondes centrale de la bande passante de l'instrument.

PRF-006 Échantillonnage longitudinal, bande unique :

L'échantillonnage longitudinal permettant d'acquérir des images d'une seule bande spectrale doit être supérieur à 15 km.

PRF-007 Échantillonnage transversal, bandes multiples :

L'échantillonnage longitudinal permettant d'acquérir des images de trois bandes spectrales successives doit être supérieur à 50 km.

PRF-008 Résolution transversale :

La résolution transversale doit correspondre à la résolution verticale.

Vérification

Étant donné qu'il s'agit essentiellement d'une activité de conception, on prévoit que toutes les exigences énumérées dans cet ET, ainsi que les exigences découlant des activités de définition des exigences et de conception préliminaire, seront vérifiées par une revue de la conception ou une analyse. Ces méthodes sont décrites ci-après. Le tableau 1 présente les méthodes de vérification qui doivent être utilisées pour vérifier les exigences contenues dans cet ET.

Analyse

La vérification par analyse est effectuée pour les exigences de rendement quantitatives (les paramètres ayant une valeur numérique) qui ne peuvent pas être vérifiées par toute autre forme de mesure directe (ou qui n'ont pas besoin de l'être). Dans la mesure du possible, l'analyse devrait être fondée sur des données d'essais, comme : l'extrapolation du rendement conforme à l'exécution mesuré pour déterminer le rendement en fin de vie ou la combinaison de données d'essais d'une série de mesures de niveau inférieur afin de déterminer le rendement de l'ensemble intégré. L'analyse peut être utilisée en conjonction avec des essais ou d'elle-même comme méthode de vérification d'un paramètre donné.

Les méthodes d'analyse appropriées (modélisation mathématique, analyse des similitudes, simulation, etc.) doivent être sélectionnées en fonction de leur réussite technique et de leur rentabilité dans le respect des stratégies de vérification applicables. L'analyse des similitudes avec un produit identique ou similaire doit prouver que les caractéristiques et le rendement des nouvelles applications sont dans les limites d'une conception précurseur qualifiée et définir les différences éventuelles qui pourraient imposer d'autres étapes de vérification complémentaires.

Examen de la conception

Un examen de la conception doit être utilisé lorsqu'il sera question d'examiner les concepts et, de façon générale, les dossiers et la documentation de niveau inférieur, c.-à-d. là où un examen de la conception de niveau inférieur suffit à constater la conformité de la conception aux exigences. Par exemple, si un connecteur doit être doté d'une broche parallèle redondante, cela peut être vérifié adéquatement par un examen de la conception du connecteur. Normalement, cette activité est menée par l'examen des documents de conception et/ou des dessins.

Tableau 1 : Méthodes de vérification

Besoin	Nom	Méthode*	Remarque
PHY-001	Compatibilité avec un microsatellite	RC	
PRF-001	Résolution verticale	A	
PRF-002	Portée verticale	RC	
PRF-003	Gamme spectrale	RC	
PRF-004	Résolution spectrale	A	
PRF-005	Rapport signal/bruit	A	
PRF-006	Échantillonnage longitudinal, bande unique	RC	
PRF-007	Échantillonnage transversal, bandes multiples	RC	
PRF-008	Résolution transversale	A	
* A : Analyse, RC : Revue de la conception			

Échéancier NMT

Le NMT visé pour ce développement technologique est le NMT 3 pendant la durée du contrat.

Produits à livrer

Les produits à livrer pour cette activité sont énumérés au tableau 2. Ils s'ajoutent à la Section A.7 Réunions et produits à livrer prévus au contrat de l'annexe A. Si un même produit à livrer est mentionné dans la section A.6 et le tableau 2, ce dernier est prioritaire.

Tableau 2 – Produits à livrer

N°	Échéance	Produit à livrer	Genre
D1	M1	Présentation à la RL	Document/rapport technique et de gestion
D2	Chaque revue et jalon	Présentation pour la réunion trimestrielle ou d'étape/d'examen de l'avancement des travaux	Document/rapport technique et de gestion
D3	Chaque revue et jalon	Rapport de suivi	Documents de gestion et de suivi du projet
D4	Chaque revue et jalon	Ordre du jour de la réunion	Documents de gestion et de suivi du projet
D5	Chaque revue et jalon	Compte rendu	Documents de gestion et de suivi du projet
D6	M2, M3	Document sur les exigences	Document/rapport technique
D7	M3	Document de définition préliminaire	Document/rapport technique
D8	M4	Document de conception détaillé	Document/rapport technique
D9	Chaque mois	Rapport d'étape	Documents de gestion et de suivi du projet
D10	M4	Rapport sommaire	Rapport de renseignements généraux
D11	M2, M3, M4	Modèles et analyses	Données techniques et analyse
D12	M4	Feuille de route TRRA/NMT	Document/rapport technique

Échéancier et jalons

On prévoit que ce développement technologique durera 12 mois. Un échéancier suggéré est présenté au tableau 3. L'entrepreneur peut proposer un autre échéancier d'une durée maximale de 18 mois.

Tableau 3 – Échéancier et jalons

Jalons	Description	Achèvement
M1 – RL	Début/réunion de lancement	Attribution du contrat + 2 semaines
RET – au besoin	Réunions d'échanges techniques	S.O.
M2	Examen des exigences	Attribution du contrat + 2 mois
M3	Revue de définition préliminaire	Attribution du contrat + 6 mois
M4	Réunion de revue finale	Attribution du contrat + 12 mois

APPENDICE A-6 : DESCRIPTION D'ÉLÉMENTS DE DONNÉES (DED)

DED-0003 – Rapport d'avancement des travaux	274
DED-0004 – Calendrier de projet détaillé	277
DED-0006 – Ordre du jour des réunions	278
DED-0007 – Procès-verbaux des réunions	279
DED-0008 – Registre des mesures de suivi	280
DED-0009 – Dossier de données de revue	281
DED-0010 - Dossier de données sur le produit fini (EIDP)	282
DED-0011 – Dossier de données sur le produit logiciel fini	283
DED-0215 - Matrices de conformité et de vérification	284
DED-0217 - Niveau de maturité technologique avec formulaire et tableau-synthèse TRRA	285
DED-0218 - Feuille de route technologique	286
DED-0236 - Modèles techniques et analyses	287
DED-0260 – Document de conception	288
DED-0262 – Plan de vérification	289
DED-0263 -- Document descriptif des versions logicielles (VDD)	292
DED-0280 – Procédure d'essai	293
DED-0285 – Rapport d'essai	294
DED-0301 – Procédures opérationnelles et guide d'utilisation	295

DED-0003 – Rapport d'avancement des travaux

OBJET

Le rapport d'avancement des travaux indique l'état des travaux en cours durant la période précédente. Le gouvernement utilise ce rapport pour évaluer les progrès réalisés par l'entrepreneur en ce qui a trait à l'exécution des travaux.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Les rapports d'avancement des travaux doivent inclure au moins les sections suivantes :

- 1) Indications sur le respect ou non des échéances; sinon, explication de tout délai ou exposition d'un plan de reprise. Le rapport doit comprendre un échéancier mis à jour qui indique les progrès et le cas échéant toute modification.
- 2) Indications sur le respect ou non du budget fixé; sinon, explication de toute dérogation et exposition d'un plan de reprise. Le rapport doit comprendre un tableau des mouvements de trésorerie à jour pour chaque activité/jalon/lot de travaux accompagnés des dates de début et de fin ainsi que les mouvements de trésorerie réels, accompagnés des dates réelles de début et de fin.
- 3) Résumé succinct des progrès techniques pour chacun des lots de travail, y compris
 - a) la description des principaux éléments développés, achetés ou construits pendant la période visée;
 - b) la liste des rapports d'ingénierie internes rédigés pendant la période visée;
 - c) les tendances en matière d'exigences sur les CER, d'estimations et de marges actuelles.
- 4) Résumé du travail proposé pour le mois suivant, y compris :
 - a) une description des articles importants que l'entrepreneur prévoit acquérir au cours du prochain mois, y compris les logiciels;
 - b) date d'achèvement prévue des prochains jalons;
- 5) Résumé des problèmes rencontrés, de leur impact sur le projet et des solutions proposées ou mises en place.
- 6) Rapports de voyage pour chaque conférence à laquelle on a assisté ou chaque établissement visité pendant la durée du contrat (et seulement si ces déplacements sont financés par le contrat).
- 7) Événements relatifs aux sous-traitants (revues, jalons, etc.), état et problèmes.
- 8) Analyse de la situation en matière de risques : Un rapport sur l'état des risques du projet, incluant la description des problèmes antérieurs résolus, l'état des risques actuels (changements et répercussions), l'identification de nouveaux risques, leurs répercussions, de même que les mesures d'atténuation proposées.

Une évaluation globale de l'état du projet doit être fournie au début de chaque rapport. L'objectif est d'avoir un aperçu de l'état d'avancement du projet. Le Tableau A-2 présente les informations qui sont exigées ainsi que le format dans lequel elles doivent être soumises.

Tableau A-2 : - ÉTAT D'AVANCEMENT DU PROJET

Élément de projet	État	Tendance	Commentaires
Coûts	Vert	↑	
Calendrier	Vert	↓	
Résultats/CER	Rouge	↔	
Programmatique	Jaune	↑	

La première colonne présente le paramètre du projet qui doit être examiné et évalué (élément de projet). Les quatre paramètres à évaluer sont les suivants :

- Coûts
- Calendrier
- Résultats à la lumière des CER;
- Programmatique.

Les éléments « Coûts », « Échéancier » et « Résultats/critères d'évaluation du rendement » sont des indicateurs quantitatifs, tandis que l'élément « Programmatique » est un indicateur qualitatif.

La deuxième colonne indique l'état du projet relativement à chaque paramètre. Le tableau A-3 définit les différents états possibles pour chacun des trois premiers éléments du projet.

Tableau A-3 : - DÉFINITIONS DES INDICATEURS D'ÉTAT

Indicateur d'état	Interprétation		
	Coûts	Calendrier	Technique
Vert	Conforme ou inférieur au budget prévu pour ce projet	Conforme au calendrier prévu ou en avance sur celui-ci	Conforme aux CER
Jaune	Dépassement compris entre 0 et 5 %	Retard compris entre 0 % et 5 %	Non conforme aux CER mais comporte un plan de reprise approuvé
Rouge	Dépassement supérieur à 5 %	Retard supérieur à 5 %	Non conforme aux CER et ne comporte pas de plan de reprise approuvé

Pour ce qui concerne l'élément « Programmatique », l'état est évalué en fonction des trois autres éléments. Bien que l'élément « Programmatique » tienne compte des indicateurs de coûts, d'échéancier et de résultats/CER, il est principalement influencé par les éléments les plus névralgiques à ce point au cours du projet. La troisième colonne du Tableau A-2 constitue une évaluation de la tendance de l'évolution des paramètres du projet.

Le Tableau A-4 illustre les choix qui sont offerts.

Tableau A-4 : - DÉFINITION DES INDICATEURS DE TENDANCES

Indicateur de tendance	Interprétation
↑	La situation s'est améliorée depuis le dernier examen
↓	La situation a empiré depuis le dernier examen
↔	La situation n'a pas changé depuis le dernier examen

La quatrième colonne du Tableau A-2 permet d'inscrire des commentaires sur l'état et la tendance des différents paramètres du projet ou de formuler un commentaire d'ordre général.

DED-0004 – Calendrier de projet détaillé

OBJET

Fournir un système de planification et de contrôle du calendrier du projet et donner à l'ASC un moyen de connaître l'état d'avancement et la situation du programme.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Le calendrier du projet doit être fondé sur la SRTC et être présenté sous forme de graphique de Gantt. Il doit être suffisamment détaillé pour montrer chaque tâche de la SRTC à exécuter. Il doit fournir les éléments suivants :

- 1) les liens de dépendance;
- 2) les ressources requises;
- 3) la date de début et de fin de chaque tâche (situation de référence et réelle);
- 4) la durée des tâches;
- 5) le pourcentage d'achèvement;
- 6) les échéances et les jalons;
- 7) le chemin critique.

L'échéancier doit indiquer les liens de dépendance entre l'entrepreneur et d'autres organismes.

La durée des tâches associées aux produits à livrer doit être limitée à trois mois dans le calendrier du projet. Au besoin, l'entrepreneur doit subdiviser les tâches plus longues en fractions significatives.

Les tâches qui ne sont pas liées à un produit à livrer particulier, notamment les activités en gestion de projet et assurance qualité, doivent être regroupées séparément des groupes de produits à livrer et doivent figurer à la partie supérieure du graphique. Le calendrier doit être fourni dans son format d'origine; MS Project ou PS8 sont les deux formats acceptés, de même que PDF.

DED-0006 – Ordre du jour des réunions

OBJET

Préciser le but et le contenu d'une réunion.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Les ordres du jour des réunions doivent renfermer au moins les renseignements suivants :

- 1) **EN-TÊTE DU DOCUMENT :**
 - a) titre;
 - b) type de réunion;
 - c) titre du projet, numéro du projet et numéro du contrat;
 - d) date, heure et lieu;
 - e) présidence;
 - f) nom des personnes dont la présence est obligatoire ou souhaitée;
 - g) durée prévue.
- 2) **CORPS DU DOCUMENT :**
 - a) introduction, objet, but;
 - b) mot d'ouverture : ASC;
 - c) observations préliminaires : entrepreneur;
 - d) examen du procès-verbal de la réunion précédente et de tous les points qui restent à traiter;
 - e) questions techniques concernant le projet;
 - f) questions concernant la gestion du projet;
 - g) autres sujets;
 - h) examen des mesures de suivi nouvellement créées ou réglées, des décisions, des ententes et des procès-verbaux;
 - i) dates ou confirmation des dates des réunions futures.

DED-0007 – Procès-verbaux des réunions

OBJET

Les procès-verbaux des réunions ou des revues fournissent un compte rendu des décisions et des ententes établies durant les réunions et les revues.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Un procès-verbal de réunion doit être préparé pour chaque revue ou réunion officielle et doit comprendre au moins les informations suivantes :

- 1) Page titre indiquant les renseignements suivants :
 - a) titre, type de réunion, date, heure et durée;
 - b) titre du projet, numéro du projet et numéro du contrat;
 - c) espace pour les signatures des représentants désignés de l'entrepreneur, de l'ASC et de Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC);
 - d) nom et adresse de l'entrepreneur.
- 2) Objet et buts de la réunion
- 3) Lieu
- 4) L'ordre du jour (DID-0006)
- 5) Résumé des discussions, des décisions prises et des accords conclus
- 6) Liste des participants par nom, fonctions, numéros de téléphone et adresses électroniques, s'il y a lieu
- 7) Liste des mesures de suivi qui doivent encore être traitées, avec une indication de la personne responsable et de la date cible pour chaque mesure dans la foulée de l'examen
- 8) Autres données et renseignements convenus mutuellement
- 9) Le procès-verbal doit comporter la mention suivante :

« Toutes les parties responsables d'obligations contractuelles concernant le projet reconnaissent que le procès-verbal d'un examen/d'une réunion ne modifie, supprime ni ajoute aux obligations des parties, telles qu'elles sont définies dans le contrat. »

DED-0008 – Registre des mesures de suivi

OBJET

Le registre des mesures de suivi (AIL) énumère, par ordre chronologique, tous les éléments qui nécessitent des mesures concrètes, permet de faire le suivi de ces mesures et, en bout de ligne, fournit un dossier permanent des mesures de suivi.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Le rapport de suivi (AIL) doit être présenté sous forme de tableau, avec les titres suivants, dans cet ordre :

- 1) numéro de la mesure;
- 2) titre de la mesure;
- 3) description de la mesure;
- 4) date d'ouverture;
- 5) source de la mesure à prendre (p. ex., réunion PDR, constat d'inadéquation (RID), etc.);
- 6) auteur;
- 7) bureau de première responsabilité (BPR);
- 8) personne responsable (de la mesure à prendre);
- 9) date cible/réelle de résolution;
- 10) mise à jour des progrès;
- 11) justification de la clôture;
- 12) état (à traiter ou réglé);
- 13) remarques.

La date de la colonne 9) sera la date cible tant que le point restera à traiter, et la date réelle une fois que le point sera réglé.

DED-0009 – Dossier de données de revue

OBJET

Le dossier des données de revue est un recueil de tous les documents que doit présenter l'entrepreneur lors d'une revue technique officielle.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Chaque dossier de données de revue doit contenir les documents précisés dans le tableau 3-2 de la LDEC et exigés dans le cadre de cette revue, ainsi que les présentations faites au cours de la réunion, l'ordre du jour, le procès-verbal et la liste des mesures de suivi (AI).

DED-0010 - Dossier de données sur le produit fini (EIDP)

OBJET

Données visant à documenter la conception, la fabrication, l'assemblage, l'intégration et l'essai du matériel à livrer.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Il faut préparer un dossier de données sur le produit fini (EIDP) pour chaque ensemble de produits à livrer. Ce dossier doit être livré en format électronique doté d'une interface ou d'une fonction de recherche. Les changements de mise à jour apportés à la suite du déploiement de la première phase doivent être clairement identifiés. Le dossier doit notamment contenir les renseignements suivants :

- 1) tous les prototypes du matériel et tout le matériel de servitude au sol (GSE), y compris les câbles;
- 2) les données d'après exécution : la documentation sur le matériel d'après exécution est un recueil d'éléments qui décrivent avec exactitude la configuration d'un ensemble façonné et numéroté :
 - a) le numéro de pièce et la lettre de révision pour chaque élément;
 - b) la description de pièce (titre) de chaque élément;
 - c) la désignation de référence de pièce électronique;
 - d) le fabricant;
 - e) le numéro de spécification d'approvisionnement ou de dessin de contrôle à la source (SCD) et la lettre de révision du SCD;
- 3) la liste complète des essais effectués, y compris la compilation des données et des résultats pour chaque essai;
- 4) la liste des travaux/essais non terminés;
- 5) la liste des dessins d'après conception et la liste des pièces, et le recollement des dessins d'après conception et des dessins d'après exécution en cas de différences entre eux, pour chaque élément contractuel du produit fini à livrer;
- 6) le résumé et des copies des écarts et des renonciations applicables aux éléments à livrer;
- 7) une livraison unique, avec les mises à jour requises des éléments suivants :
 - a) le dessin complet et à jour de l'assemblage final de chaque type d'élément à livrer;
 - b) le dessin complet et à jour des documents de contrôle d'interface (ICD) (dessins et spécifications d'interface), pour chaque livraison;
 - c) dans le cas de montages électroniques, l'ensemble complet des schémas de circuit et des fiches techniques des circuits – disponibles à des fins d'examen dans les locaux de l'entrepreneur.

DED-0011 – Dossier de données sur le produit logiciel fini

OBJET

Données visant à documenter la conception, le développement, l'assemblage, l'intégration et l'essai des logiciels à livrer.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Il faut préparer un dossier de données sur le produit fini (EIDP) pour chaque logiciel à livrer. Le dossier doit notamment contenir les renseignements suivants :

- 1) identification du produit d'après exécution, y compris :
 - a) identification de la version du logiciel, par identificateur de programme, phase, version et date;
 - b) nom et version du système d'exploitation;
 - c) nom du langage de programmation, nom du compilateur et version;
 - d) nom et version de l'environnement de développement à l'appui (s'il y a lieu);
- 2) document descriptif final des versions logicielles (VDD);
- 3) liste des documents associés aux logiciels requis (relevant du contrôle de la GC), y compris les documents de conception logicielle, les manuels d'utilisateurs, les procédures d'essai, les scripts et les résultats des essais;
- 4) tous les codes sources, les exécutable, les fichiers de configuration et de paramètres, les fichiers de configuration rechargeables pour la FPGA;
- 5) tous les logiciels de tierces parties; ceux-ci doivent être accompagnés d'une licence autorisant l'archivage et la copie du logiciel selon les besoins pour les opérations futures de l'ASC;
- 6) liste de tous les logiciels et ordinateurs du commerce achetés dans le cadre du présent contrat;
- 7) tous les logiciels du commerce achetés dans le cadre du présent contrat (fichier ou disque d'origine avec licence à l'ASC), les logiciels associés au matériel de servitude au sol (GSE), etc.;
- 8) liste de toutes les anomalies à régler ou réglées, associées à cette livraison. Toutes les anomalies signalées ou importantes doivent être réglées avant la livraison.

Tous les logiciels doivent être livrés sur un support directement compatible avec le matériel fourni. Une copie des logiciels doit être installée sur le matériel livré. Une seconde copie doit être fournie sur disque CD-ROM ou DVD.

DED-0215 - Matrices de conformité et de vérification

OBJET

Les matrices de vérification et de conformité aux exigences montrent les détails de la conformité d'un système et de la vérification de cette conformité tout au long du cycle de vie du projet pour chacune des exigences du système. Il s'agit d'un document évolutif : il est mis à jour à chaque examen par l'ajout de nouvelles données. La matrice est étroitement liée au plan de vérification parce qu'elle fournit les liens détaillés entre les activités de vérification et les exigences particulières qu'elles abordent. Toutefois, ce document est distinct du Plan de vérification.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Les matrices de vérification et de conformité aux exigences doivent comprendre, pour chaque exigence :

- 1) Le numéro de document et le code d'identification de l'exigence;
- 2) la description de l'exigence;
- 3) les autres références pertinentes de l'exigence;
- 4) la méthode de vérification;
- 5) la conformité aux exigences d'après les données de vérification présentées pendant la phase en cours;
- 6) concernant les exigences quantitatives : la performance prévue ou réalisée et l'écart par rapport à l'exigence;
- 7) un lien vers les données de vérification qui justifient la conformité et attestent la valeur quantitative (document, page et paragraphe);
- 8) des commentaires, concernant par exemple des plans visant à régler les cas de non-conformité.

DED-0217 - Niveau de maturité technologique avec formulaire et tableau-synthèse TRRA

OBJET

Se rapportant au document DR2, l'évaluation TRRA (Technology Readiness and Risk Assessment) décrit de façon systématique et objective à un moment précis (le jalon) du processus de développement, le niveau de maturité technologique d'un système destiné à une mission particulière d'engin spatial ou à un environnement particulier, la criticité des technologies constitutives et le degré de difficulté prévu pour franchir le reste des étapes du développement technologique.

Les documents TRRA présentent, pour tous les éléments technologiques critiques (CTE) du concept proposé figurant dans la Structure de répartition des produits (PBS), un résumé du niveau de maturité des technologies et des risques associés au développement de celles-ci.

Avant de procéder à l'évaluation TRRA, il faut s'entendre sur le niveau approprié de la PBS et l'identification du CTE.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

L'évaluation de la maturité technologique et des risques (TRRA) doit être réalisée conformément aux Lignes directrices sur l'évaluation du niveau de maturité technologique et des risques connexes à l'aide des feuilles de travail suivantes fournies par l'ASC : Critical Technologies Elements Identification Criteria Worksheet (CSA-ST-FORM-0003) (DR7), Fiche d'évaluation de la maturité et du risque technologique (CSA-ST-FORM-0001) (DR5) pour chaque ETC et synthèse à l'aide de l'outil de consolidation de données d'évaluation de la maturité technologique et des risques (CSA-ST-RPT-0002) (DR6). Toutes les feuilles de travail remplies doivent être remises à l'ASC. Un résumé de l'évaluation TRRA et des recommandations doivent être inclus dans le rapport technique du projet

DED-0218 - Feuille de route technologique

OBJET

La feuille de route technologique donne un aperçu des développements technologiques requis pour satisfaire aux besoins de la mission. Elle fournit également un plan et un échéancier pour l'atteinte des NMT 6 et 8.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

La feuille de route doit également être présentée selon le format du document DR4 (CSA-ST-RPT-0003)

DED-0236 - Modèles techniques et analyses

OBJET

Appuyer la conception et déterminer la faisabilité de cette conception de manière à respecter les exigences au cours des phases conceptuelles et, dans certains cas, permettre de vérifier la conformité aux exigences lorsqu'il n'est pas possible de le faire directement par un essai ou une inspection.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

FORMAT ET CONTENU GÉNÉRIQUES POUR TOUTES LES ANALYSES

Tous les modèles élaborés doivent être livrés tel que prévu dans les formats suivants¹ :

- a) Conception mécanique : STEP AP203 (.stp)
- b) Conception électrique : formats .dsn, .sch, Pspice et Gerber;
- c) Conception logicielle : UML 2,0 ou XML (Extensible Markup Language)
- d) Conception thermique : NX Space Thermal

Dans les cas où un outil logiciel différent de celui de l'ASC est utilisé, le modèle et les extrants doivent être fournis dans le format d'origine ainsi que dans le format demandé. Pour les modélisations et les analyses qui ne font pas appel à un outil spécialisé, l'ASC acceptera les formats Matlab, Excel et MathCad. Si un outil hautement spécialisé est utilisé, le format du produit livré devra être négocié avec le TA. La transformation des données de l'outil de l'entrepreneur dans le format requis ne sera acceptée que si les résultats peuvent être reproduits dans l'outil de l'ASC. L'ASC n'acceptera pas une transformation qui entraîne la corruption du modèle, la perte de données ou la production de données pouvant être interprétées différemment.

Les documents d'analyse doivent comprendre tous les travaux d'analyse effectués pour appuyer la conception. L'analyse doit être suffisamment détaillée pour que l'ASC ou un examinateur extérieur puisse, en combinaison avec les modèles livrés, reproduire les résultats. L'analyse doit établir la faisabilité et la vérification de la conception pour répondre aux exigences.

Les données doivent comprendre des références aux sources, notamment équations, valeurs matérielles, paramètres et propriétés.

Chaque rapport doit comprendre au moins les renseignements suivants :

- 1) objectifs de l'analyse;
- 2) référence aux exigences pertinentes;
- 3) description des outils d'analyse utilisés;
- 4) description du modèle développé pour aider l'utilisateur du modèle (le cas échéant);
- 5) indication des hypothèses posées;
- 6) description des principales étapes de l'analyse et des résultats intermédiaires;
- 7) résultats de l'analyse et compatibilité avec les exigences;
- 8) détermination des éléments susceptibles de poser des problèmes et présentation de solutions conceptuelles de rechange;
- 9) conclusion.

Les modèles livrés doivent comprendre au moins des exemples d'extrants afin que l'utilisateur puisse vérifier leurs fonctions, et ils devraient contenir les principaux extrants utilisés dans les documents d'analyse.

¹ Tous les dessins 2D doivent être présentés en format PDF, avec capacité d'agrandissement.

DED-0260 – Document de conception

OBJET

Décrire les caractéristiques et les capacités de l'élément à concevoir. Cet élément peut être un système ou un sous-système.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Le document de conception constitue une « réponse » au document de définition des exigences du système ou du sous-système. En effet, le document de définition précise les besoins, et le document de conception décrit les moyens mis en œuvre pour répondre à ces besoins. Le document de conception constitue le principal texte de référence pour les utilisateurs après la livraison de l'élément, et décrit toute la gamme de rendement ainsi que les capacités fonctionnelles vérifiées au cours du programme d'essai et de vérification¹.

Chaque document doit comprendre, à tout le moins, les éléments suivants :

- 1) Portée
 - a) Vue d'ensemble du système
 - b) Aperçu du document;
- 2) Conception du système
 - a) Diagramme des blocs fonctionnels
 - b) Interfaces externes
 - c) Descriptions des sous-systèmes
 - d) Interfaces internes
 - e) Description fonctionnelle
- 3) Description des éléments mécaniques
- 4) Description des éléments électriques
- 5) Modes et états d'exploitation
- 6) Considérations environnementales dérivées des exigences environnementales spécifiées dans le présent ET
- 7) Résumé de l'évaluation TRRA et recommandations
- 8) Sigles et acronymes

¹ Tous les dessins 2D doivent être présentés en format PDF, avec capacité d'agrandissement.

DED-0262 – Plan de vérification

OBJET

Le plan de vérification définit le processus de vérification. Ce plan précise également les politiques de planification, les méthodes de contrôle et les responsabilités opérationnelles. C'est à partir du plan de vérification que les méthodes de vérification sont élaborées. Celles-ci fournissent les instructions, y compris les configurations, les contraintes et les conditions préalables, pour obtenir les données montrant la conformité aux exigences.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Le plan de vérification doit :

- 1) définir les activités de vérification qui permettront d'attester que le système et les sous-systèmes respectent toutes les exigences spécifiées, y compris les exigences se rapportant au fonctionnement, au rendement, aux interfaces et aux conditions ambiantes;
- 2) définir toutes les activités de vérification à chaque phase du projet, y compris les essais, les analyses et les inspections;
- 3) décrire les méthodes et les techniques qui seront utilisées pour mesurer, évaluer et vérifier le système. Cela doit comprendre la caractérisation du comportement du système, laquelle n'est pas régie par les exigences mais qui a son importance si l'on veut comprendre le système et établir les valeurs réelles des paramètres qui dépassent les exigences;
- 4) utiliser une combinaison appropriée d'outils de simulation et d'analyse, de maquettes, de modèles de laboratoire, de modèles technologiques et de modèles prototypes;
- 5) définir les exigences visant les installations de soutien, les outils d'analyse et le matériel d'essai, existants et à construire. Les hypothèses visant l'utilisation de l'équipement fourni par le gouvernement (EFG) dans les essais doivent être documentées et comprendre :
 - a) l'équipement et le matériel requis;
 - b) la configuration de l'équipement qui sera utilisé;
 - c) toute exigence concernant la modification ou la mise à niveau de l'EFG;
 - d) l'endroit où cet équipement sera utilisé.
- 6) définir le calendrier des activités de vérification ainsi que les exigences en matière de calendrier associées aux installations fournies par le gouvernement (p. ex. le Laboratoire David-Florida).

Les exigences visant l'EFG doivent être soulignées ou résumées de manière qu'une demande intégrée puisse être donnée au fournisseur.

Pour chaque essai défini et chaque activité d'analyse, le plan doit contenir :

- 1) une description de l'activité;
- 2) l'objectif, y compris les exigences à vérifier;
- 3) le matériel et les logiciels de soutien;
- 4) les hypothèses et les contraintes qui s'appliquent à l'activité;
- 5) les plans d'installation, de montage et de maintien des éléments dans les conditions d'essai ou d'analyse;
- 6) une description des activités de consignation, de réduction et d'analyse des données à mener pendant et après l'activité;

DÉFINITION DES MÉTHODES DE VÉRIFICATION

Le programme de vérification doit être exécuté à l'aide d'une ou de plusieurs des méthodes décrites dans les sous-sections ci-dessous.

Essais

La vérification par essai consiste à faire fonctionner le système, dans des conditions clairement définies, pour évaluer son rendement.

Essais fonctionnels

Les essais fonctionnels sont des essais individuels ou une série d'essais de rendement électrique ou mécanique menés sur le matériel ou les logiciels du système dans des conditions égales ou inférieures aux spécifications de conception. Leur objectif est d'établir que le système fonctionne de manière satisfaisante, conformément aux spécifications de conception et de rendement. Un essai fonctionnel est généralement réalisé dans les conditions ambiantes. On l'exécute avant et après chaque essai en environnement ou chaque étape importante afin de vérifier le rendement du système avant l'opération ou l'essai suivant.

Essais en environnement

Les essais en environnement sont des essais individuels ou une série d'essais que l'on fait subir au matériel du système pour s'assurer que le matériel du rover fonctionnera de manière satisfaisante dans un milieu analogue. Les essais de résistance aux vibrations ainsi que les essais acoustiques, thermiques, sous vide et EMC sont des exemples d'essais en environnement. Les essais en environnement peuvent ou non être combinés à des essais fonctionnels selon les objectifs des essais.

Analyse

La vérification par analyse est un procédé qui remplace ou complète les essais afin de vérifier la conformité aux spécifications (p. ex., stress, chaleur, matériaux). La technique retenue peut être une analyse de l'ingénierie des systèmes (structurale, environnementale, électrique, etc.), une analyse statistique et quantitative, des simulations informatiques et matérielles ainsi qu'une modélisation du milieu analogue.

On peut recourir à l'analyse lorsqu'on peut déterminer :

- a) qu'une analyse rigoureuse et précise est possible;
- b) que l'essai n'est pas réalisable ou rentable;
- c) qu'il n'y a pas de similarités;
- d) qu'une vérification par inspection ne convient pas.

Démonstration

La vérification par démonstration consiste à utiliser des techniques de démonstration réelle axées sur des exigences portant notamment sur les caractéristiques de fonctionnalité, d'accessibilité, de transportabilité et d'ergonomie. De façon générale, on prescrit la démonstration comme méthode de vérification des caractéristiques physiques qui ne sont pas assorties d'exigences numériques. Cela comprend des éléments qualitatifs comme le confort, l'accessibilité, la convenance et la pertinence. La démonstration peut aussi être prescrite en ce qui concerne la présence ou la compatibilité des contenants d'expédition, des éléments de manutention, etc.

Inspection

La vérification par inspection est l'évaluation physique de l'équipement et de la documentation connexe dans le but de vérifier les caractéristiques de conception. L'inspection sert à vérifier les éléments de construction, la qualité d'exécution, les dimensions et l'état physique, notamment la propreté, la finition de surface et la quincaillerie de verrouillage. Les inspections sont souvent menées dans le cadre d'un essai ou d'opérations d'assemblage documentées dans les instructions des fabricants.

Validation des dossiers

La validation des dossiers est le processus qui consiste à utiliser les dossiers de fabrication lors de la réception de l'élément final pour vérifier les éléments de construction et les procédés associés au matériel des systèmes. On la prescrit lorsqu'il est nécessaire de comparer deux documents ou plus en vue d'évaluer la conformité à une exigence. En voici quelques exemples courants :

- a) examiner sur des dessins les caractéristiques requises dans les spécifications;
- b) vérifier si les nomenclatures ne comportent pas d'éléments sensibles aux décharges électrostatiques;
- c) comparer deux ou plusieurs dessins pour évaluer une interface mécanique;
- d) vérifier les dossiers du personnel pour assurer une formation appropriée;
- e) vérifier les dossiers sur les installations pour connaître les conditions d'exposition;

- f) examiner les données fournies par le vendeur avec les pièces ou les matériaux;
- g) vérifier que les analyses respectent les spécifications en matière de sécurité.

Similarité

La vérification par similarité est une évaluation qui consiste à examiner des données d'essai antérieures ou une configuration matérielle et des applications pour voir si l'article à l'étude est similaire ou identique au plan de la conception et du procédé de fabrication à un autre article qui a déjà été qualifié en fonction de spécifications équivalentes ou plus strictes.

Revue des documents de conception

La vérification par la revue des documents de conception consiste à vérifier la conception en fonction des exigences, laquelle peut ou non contenir les particularités devant être vérifiées par un essai, une analyse, etc. Cette vérification doit faire partie du concept. Cette méthode est utilisée au cours des revues de définition préliminaire et de conception critique de la phase de développement.

DED-0263 -- Document descriptif des versions logicielles (VDD)

OBJET

Identifier le contenu d'une version d'un élément de configuration logicielle (CSCI), consigner les détails de tous les aspects du système ainsi que des logiciels et du matériel nécessaires à la régénération de ce CSCI.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Le VDD doit contenir au moins les informations suivantes :

- 1) Description de la version
 - a) Inventaire
 - i) Liste des fichiers sources du CSCI
 - ii) Documentation. Cette section doit énumérer toutes les révisions de document importantes associées à cette version (exigences, ICD, etc.)
 - b) Modifications apportées au document. Cette section doit énumérer toutes les nouvelles fonctionnalités qui ont été ajoutées et/ou tous les problèmes qui ont été corrigés dans cette version. Il faut inclure une liste de tous les fichiers modifiés et créés, ainsi que la justification de chacun d'eux.
- 2) Description de la version – éléments de soutien
 - a) Outils matériels
 - b) Exigences relatives au matériel de la plateforme de développement
 - c) Outils logiciels
 - d) Information sur la procédure de création et la configuration de l'environnement de développement. La procédure doit donner la marche à suivre en détail, avec les saisies d'écran voulues pour documenter le processus de création complet.
 - e) Procédures d'installation
 - f) Scripts, données et résultats des tests de validation
- 3) Erreurs connues et problèmes possibles
- 4) Remarques

DED-0280 – Procédure d'essai

OBJET

Définir la procédure à suivre pour chaque essai à réaliser.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

La présente DED s'applique aux systèmes, au matériel et aux logiciels.

La procédure d'essai doit comprendre au moins les renseignements suivants :

1. **PORTÉE**
Cette section doit comprendre une description succincte de l'essai et des objectifs visés.
2. **EXIGENCES LIÉES À L'ESSAI**
Cette section doit définir les mesures et les évaluations à réaliser au cours de l'essai.
3. **ARTICLE MIS À L'ESSAI**
Cette section doit donner une description détaillée de la configuration de l'article à mettre à l'essai.
4. **INSTALLATIONS D'ESSAI**
Cette section doit préciser les installations d'essai à utiliser, y compris leur emplacement, les coordonnées et les points de contact.
5. **PARTICIPANTS À L'ESSAI**
Cette section doit fournir la liste de personnes (titre du poste, métier ou profession) requises pour mener l'essai ou y assister.
6. **MONTAGE ET CONDITIONS DE L'ESSAI**
Cette section doit comprendre une description ou des schémas des articles mis à l'essai dans la configuration de l'essai illustrant les interfaces avec le matériel d'essai et de soutien.
L'instrumentation et la logique fonctionnelle doivent être illustrées au besoin. Cette section doit comprendre les exigences liées aux conditions ambiantes et à la propreté.
7. **INSTRUMENTATION, MATÉRIEL D'ESSAI ET LOGICIELS D'ESSAI**
Cette section doit fournir la liste des instruments, du matériel et des logiciels d'essai à utiliser au cours de l'essai.
8. **PROCÉDURE**
Cette section doit définir, étape par étape, la procédure à suivre, en commençant par l'inspection de l'article à l'essai et en poursuivant avec la description de la conduite de l'essai jusqu'à et y compris l'inspection après l'essai. Il faut définir chaque activité en séquence, tâche par tâche, y compris les niveaux d'essais à prendre en compte et les mesures et enregistrements à réaliser. Il faut indiquer en outre la procédure à suivre en cas de défaillance ou d'abandon.
9. **ANALYSE DES DONNÉES**
Cette section doit définir les méthodes à utiliser dans l'analyse des résultats, et préciser la plage d'incertitude. Le format de présentation des données doit être défini.
10. **TABLEAU DES CRITÈRES D'ACCEPTATION/DE REJET**
Cette section doit présenter les fiches techniques requises au cours de l'exécution des essais précisant les critères d'acceptation ou de rejet ainsi que les exigences connexes tirées des documents ou spécifications des exigences. Ces fiches doivent être présentées sous forme de tableaux comportant des colonnes où consigner les valeurs mesurées et les écarts. Un imprimé d'ordinateur généré par le logiciel d'essai est acceptable pourvu qu'il contienne les mêmes informations. Les critères d'essai doivent toutefois être énoncés dans la procédure d'essai.

DED-0285 – Rapport d'essai

OBJET

Documenter les résultats de tous les essais effectués sur du matériel ou un CSCI.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

La présente DED s'applique aux systèmes, au matériel et aux logiciels.

Le rapport d'essai doit documenter tous les essais réalisés en vue de vérifier que l'appareil ou le logiciel respectera les exigences fonctionnelles et opérationnelles précisées dans les documents ou spécifications des exigences s'appliquant à l'appareil.

La procédure d'essai doit comprendre au moins les renseignements suivants :

1. **DOCUMENTS APPLICABLES**
Cette section doit comprendre les procédures d'essai et les spécifications ou exigences des systèmes mis à l'essai.
2. **ARTICLE OU SYSTÈME MIS À L'ESSAI**
Cette section doit définir en détail la configuration de l'article mis à l'essai.
3. **OBJET**
Cette section doit décrire l'objet de l'essai ainsi que les spécifications ou exigences particulières qu'il doit vérifier.
4. **RÉSUMÉ DES RÉSULTATS D'ESSAI**
Cette section doit présenter un résumé des résultats des essais, y compris les non-conformités, le cas échéant.
5. **INSTALLATIONS D'ESSAI**
Cette section doit préciser les installations d'essai à utiliser, y compris leur emplacement, les coordonnées et les points de contact.
6. **MONTAGE ET CONDITIONS DE L'ESSAI**
Cette section doit comprendre une description ou des photos/schémas des articles mis à l'essai dans la configuration de l'essai illustrant les interfaces avec le matériel d'essai et de soutien. L'instrumentation et la logique fonctionnelle doivent être illustrées au besoin. Cette section doit décrire les conditions ambiantes et la propreté ainsi que les conditions d'opération (p. ex., tension d'alimentation).
7. **INSTRUMENTATION, MATÉRIEL D'ESSAI ET LOGICIELS D'ESSAI**
Cette section doit fournir la liste des instruments, du matériel et des logiciels d'essai utilisés au cours de l'essai.
8. **RÉSULTATS DÉTAILLÉS DE L'ESSAI**
Cette section doit présenter les données réelles des essais obtenues dans les tableaux préparés au cours de la procédure d'essai (ou générés par logiciel) au cours de l'essai proprement dit, ainsi que les écarts par rapport aux critères.
9. **ANALYSE DES DONNÉES D'ESSAI**
Cette section doit documenter les analyses requises pour relier les résultats détaillés aux exigences à vérifier.
10. **NON-CONFORMITÉS**
Cette section doit fournir tous les rapports de non-conformité générés au cours de l'essai. Ces rapports seront datés et stipuleront les dernières décisions.
11. **Conclusions et recommandations**
Cette section doit préciser les lacunes, les limites ou les contraintes, et proposer des solutions conceptuelles de rechange à évaluer en vue de régler les problèmes survenus au cours de l'essai.

DED-0301 – Procédures opérationnelles et guide d'utilisation

OBJET

Fournir des procédures détaillées, étape par étape, ainsi que des directives concernant l'exploitation du système (charge utile ou rover). Dans le cas d'un rover, il faut inclure les procédures visant le véhicule proprement dit ainsi que le véhicule une fois intégré.

INSTRUCTIONS CONCERNANT LA PRÉPARATION

Exigences générales

Les procédures opérationnelles et le guide d'utilisation doivent être fournis en Microsoft Word. Les dessins et les images doivent être intégrés à ces documents Word, et non pas présentés dans des fichiers distincts.

Les procédures opérationnelles et le guide d'utilisation doivent contenir une annexe présentant une analyse du flux des opérations de bout en bout, y compris les opérations en temps réel ainsi que les travaux d'analyse hors ligne réalisés avant et après la mission. Ils doivent également indiquer le processus de formation des opérateurs, notamment la préparation des séances de formation, la mise en œuvre de celles-ci et l'utilisation des outils servant à évaluer le rendement des opérateurs et à leur permettre d'obtenir leur certification.

Le guide d'utilisation doit contenir les renseignements suivants :

- 1) Description et principes d'exploitation, y compris configuration pour les aspects suivants :
 - a) Transport
 - b) Déploiement sur le terrain (s'il est différent)
- 2) Procédures d'assemblage (le cas échéant)
NOTA : vise l'assemblage interne à un rover ou à une charge utile, NE COUVRE PAS l'installation d'une charge utile sur un rover, laquelle doit être présentée dans les procédures d'intégration.
 - a) Interfaces mécaniques (y compris les raccordements des systèmes de refroidissement / chauffage)
 - b) Interfaces électriques
 - c) Interfaces de commande et de traitement des données (C&DH)
 - d) Instructions de montage de scénario (logiciel et matériel)
 - e) Instructions d'analyse de scénario
- 3) Procédures de démontage
- 4) Modes d'exploitation
- 5) Procédures et bases de données opérationnelles
 - a) Définition de toutes les opérations pour lesquelles le système a été conçu
 - b) Spécification de toutes les contraintes associées à chaque procédure, avec renvois aux documents techniques justificatifs
 - c) Marche/arrêt et initialisation du logiciel, et cessation de l'exploitation du système
 - d) Étalonnage
 - e) Procédures opérationnelles courantes
 - f) Suivi des opérations du système, y compris définition des problèmes, évaluation et conditions nécessitant l'arrêt de l'ordinateur
 - g) Détection, analyse et correction des comportements anormaux
 - h) Renvois à la base de données sur la configuration de référence pour chaque paramètre utilisé dans la procédure
 - i) Règles de fonctionnement
- 6) Procédures C&DH
 - a) Méthodes de commande du système ou de l'expérience (par ordinateur, manuellement, autres)
 - b) Méthodes de collecte et d'élimination des données H&S
- 7) Procédure d'utilisation des logiciels
 - a) Informations et instructions d'utilisation nécessaires aux interactions utilisateurs avec les CSCI

- i) Procédures opérationnelles, étape par étape, y compris l'utilisation des outils d'analyse avant et après la mission ainsi que des outils de formation, d'évaluation et de certification des opérateurs
 - ii) Définition de toutes les options qui s'offrent à l'utilisateur
 - iii) Procédures d'initialisation
 - iv) Options et entrées utilisateurs nécessaires
 - v) Définition et description des entrées du système et effets sur l'interface utilisateur
 - vi) Méthodes d'arrêt et indicateurs
 - vii) Procédures de redémarrage
 - viii) Extrants attendus.
- b) liste des messages d'erreur, y compris définition et mesures à prendre.
- 8) Procédures d'entretien et de dépannage
- a) Reprise en cas de problèmes ou d'interruptions, y compris redémarrage et collecte d'informations concernant les problèmes
 - b) Description des caractéristiques de diagnostic à la disposition de l'opérateur, y compris outils disponibles, et procédures de diagnostic étape par étape
 - c) Tableau de dépannage
 - d) Entretien périodique requis, y compris les tâches et les fréquences
 - e) Équipement d'essai et outils spéciaux requis

Base de données opérationnelles

La base de données opérationnelles (ODB) doit contenir la définition des données suivantes

- 1) Format de la base de données de télémesure
- 2) Format de la base de données de télécommande
- 3) Configuration de base du système (rover ou charge utile)
 - a) Définition de tous les paramètres déterminant la configuration de la base de données installée à bord à n'importe quel moment, y compris conversions et contraintes, en temps réel, planification et plateformes d'analyse
- 4) Configuration de base du poste de commande à distance (RCS):
 - a) Définition de tous les paramètres déterminant la configuration de la base de données RCS à n'importe quel moment, y compris conversions et contraintes
 - b) Valeurs de tous les paramètres liés au système (rover ou charge utile) dans l'ODB et pertinents pour l'exécution des procédures et l'entretien du système à bord
 - c) Contraintes imposées aux valeurs de télémesure et vérification de l'état du système
 - d) État de la configuration logicielle du système (rover ou charge utile) et du RCS.

