



RETURN BIDS TO:

RETOURNER LES SOUMISSIONS À:

Travaux publics et Services gouvernementaux
Canada

Place Bonaventure,
800 rue de la Gauchetière Ouest
Voir aux présentes - See herein
Montréal

Québec

H5A 1L6

FAX pour soumissions: (514) 496-3822

LETTER OF INTEREST

LETTRE D'INTÉRÊT

Comments - Commentaires

Vendor/Firm Name and Address

Raison sociale et adresse du
fournisseur/de l'entrepreneur

Issuing Office - Bureau de distribution

Travaux publics et Services gouvernementaux Canada
Place Bonaventure,
800 rue de la Gauchetière Ouest
Voir aux présentes - See herein
Montréal
Québec
H5A 1L6

| | |
|--|---|
| Title - Sujet RFI for QEYSSat | |
| Solicitation No. - N° de l'invitation 9F064-170198/A | Date 2017-07-21 |
| Client Reference No. - N° de référence du client 9F064-17-0198 | GETS Ref. No. - N° de réf. de SEAG PW-\$MTB-545-14436 |
| File No. - N° de dossier MTB-7-40088 (545) | CCC No./N° CCC - FMS No./N° VME |
| Solicitation Closes - L'invitation prend fin at - à 02:00 PM on - le 2017-09-08 | |
| 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: Niquette, Caroline | Buyer Id - Id de l'acheteur mtb545 |
| Telephone No. - N° de téléphone (514) 496-3730 () | FAX No. - N° de FAX (514) 496-3822 |
| Destination - of Goods, Services, and Construction: Destination - des biens, services et construction: AGENCE SPATIALE CANADIENNE 9F064 # SPACE SCIENCE & TECHNOLOGIE 6767 ROUTE DE L'AÉROPORT ST HUBERT Québec J3Y 8Y9 Canada | |

Instructions: See Herein

Instructions: Voir aux présentes

| | |
|--|--|
| 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 |

Demande de renseignements (DDR)

TITRE : Concept QEYSSat (Quantum EncrYption and Science SATellite)

1. But et nature de la demande de renseignements (DDR)

Services publics et approvisionnement Canada (SPAC), au nom de l'Agence spatiale canadienne (ASC), informe le secteur spatial canadien relativement à l'intention du gouvernement du Canada de procéder avec une éventuelle Demande de Proposition (DDP) dans le cadre du programme de démonstration des capacités de l'ASC en vue du développement et de la démonstration de technologies de distribution quantique de clés dans le cadre de la mission QEYSSat.

Les objectifs de la présente DDR sont les suivants :

- Informer le secteur spatial de la date d'affichage prévue d'une éventuelle DDP;
- Informer le secteur spatial de l'étendue des travaux proposés (annexe A);
- Permettre au secteur spatial de proposer des idées pour une charge utile secondaire qui serait compatible avec cette fenêtre de vol et qui pourrait servir les intérêts du Canada;
- Permettre à l'ASC de recueillir des solutions éventuelles dans le but de réduire le temps et le coût de développement d'envoi de technologies innovatrices nouvelles dans l'espace;
- Permettre à l'ASC de recueillir des informations et des éléments à considérer dans une éventuelle DDP; et
- Permettre à l'ASC de recueillir de l'information sur les estimations préliminaires des coûts.

La présente DDR n'est pas un appel d'offres ni une demande de propositions (DDP). Aucun accord ni contrat fondé sur cette DDR ne sera conclu. Cette DDR n'est pas un engagement de la part du gouvernement du Canada, alors qu'elle n'autorise aucunement les éventuels répondants à entreprendre des travaux dont le coût pourrait être réclamé au Canada. Cette DDR ne doit pas être considérée comme un engagement à publier un appel d'offres ni à attribuer un contrat pour les travaux décrits dans les présentes. **Il est important de noter que certaines informations fournies dans cette DDR peuvent être appelées à changer, en partie ou en entier, ou peuvent être retiré d'ici la publication officielle de la DDP. Finalement, cette**

DDR ne doit pas être considérée comme un engagement sur aucune partie de la portée des travaux décrits.

Même si les renseignements recueillis sont jugés de nature commerciale (dans un tel cas, ils seront traités en conséquence par le Canada), le Canada peut utiliser l'information afin de rédiger les exigences de rendement provisoires (qui pourront être modifiées) et de planification budgétaire.

Les répondants sont encouragés à indiquer, dans les renseignements fournis au Canada, la présence de tout renseignement qu'ils considèrent comme exclusif, personnel ou appartenant à un tiers. Veuillez noter que le Canada pourrait être tenu par la loi (p. ex., en réponse à une demande formulée dans le cadre de la *Loi sur l'accès à l'information et de la Loi sur la protection des renseignements personnels*) de divulguer des renseignements exclusifs ou délicats sur le plan commercial concernant un répondant (pour en savoir davantage : <http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/a-1/>).

Les répondants sont tenus d'indiquer si leur réponse, ou toute partie de celle-ci, est assujettie au *Règlement sur les marchandises contrôlées*.

La participation à cette DDR est encouragée, mais elle n'est pas obligatoire. La présente DDR ne servira pas à établir une liste de fournisseurs éventuels pour les travaux à venir. De plus, la participation à la présente DDR n'est ni une condition ni un préalable pour participer à tout appel d'offres subséquent.

Les répondants ne recevront aucun remboursement pour les frais engagés afin de répondre à cette DDR.

2. Contexte

Dans le budget fédéral de 2017, le gouvernement du Canada adoptait son Plan pour l'innovation et les compétences, qui est axé sur les gens et qui répond à la nature changeante de l'économie pour s'assurer qu'elle convient à tous les Canadiens. Le Plan pour l'innovation et les compétences repose sur la croissance de la prochaine génération de sociétés concurrentielles à l'échelle mondiale en plus de consolider l'économie de notre pays dans un environnement où les défis se font de plus en plus nombreux à l'échelle internationale. Le budget 2017 met de l'avant un programme visant à faire du Canada un des meilleurs centres d'innovation au monde et comprenant des activités pour faire la démonstration des

innovations du Canada dans l'espace, dont plus précisément dans le domaine de la technologie quantique.

Le développement de nouvelles technologies quantiques permet de transformer les marchés, de créer de nouvelles industries et de produire des emplois dans des domaines de pointe. La cryptographie fiable est un élément important de notre infrastructure de communication vraiment sécurisée. La cybersécurité viendra consolider la souveraineté, la sécurité et la prospérité de notre pays en protégeant nos réseaux publics et privés des criminels et des menaces de l'étranger, alors que d'autres institutions importantes, comme les banques, les hôpitaux et d'autres industries de services en dépendront.

La mission de démonstration de QEYSSat permettra au Canada de franchir un pas de plus vers l'opérationnalisation d'un service de communication quantique et vers une position globalement plus forte en matière de cybersécurité pour le pays à l'ère de l'informatique quantique où les méthodes de chiffrement traditionnelles seront devenues désuètes.

3. Portée éventuelle des travaux et contraintes

Dans le cadre de sa politique et de ses activités de planification stratégique, l'ASC a identifié les principales technologies et les missions prioritaires, alors qu'elle prévoit maintenant solliciter le secteur spatial canadien dans l'avancement de ces technologies prioritaires. Aux fins de cet appel d'offres, l'ASC encourage l'industrie à collaborer avec le milieu universitaire.

Les répondants sont invités à fournir leurs commentaires sur les informations présentées dans cette DDR et dans ses annexes. Il est important de noter que ces descriptions peuvent être appelées à changer, en partie ou en entier, d'ici la publication officielle de la DDP, le cas échéant.

Les réponses ne seront pas soumises à une évaluation officielle. Toutefois, elles pourraient être utilisées pour la préparation d'une éventuelle DDP. Aucun échange supplémentaire sur les sujets soulevés ne doit être attendu; néanmoins, des clarifications pourraient être demandées au besoin.

Les répondants devraient s'assurer de fournir les coordonnées d'une personne-ressource.

4. Accords commerciaux et politiques gouvernementales

Accords commerciaux et politiques gouvernementales qui pourraient avoir des conséquences sur une éventuelle DDP :

- Les Accords commerciaux ne s'appliquent pas;
- La Politique sur le contenu canadien s'applique;
- Le Programme des marchandises contrôlées s'applique;
- Le Programme de contrats fédéraux pour l'équité en matière d'emploi (PCF EE) s'applique;
- Les ententes sur les revendications territoriales globales (ERTG) ne s'appliquent pas.

5. Échéancier

Publication de la DDP

- À titre indicatif, la publication de la DDP sur le Service électronique d'appels d'offres du gouvernement devrait avoir lieu à l'automne 2017. Il est à noter que plusieurs facteurs peuvent influencer cette date, voire mener à l'annulation d'une telle publication.

Consultation du secteur spatial

- Afin de pouvoir traiter les informations soumises et les considérer dans la rédaction de la DDP, celles-ci sont attendues au plus tard à la date de clôture.

6. Remarques importantes à l'intention des répondants :

Les répondants intéressés peuvent envoyer leur réponse à l'autorité contractante de SPAC, dont le nom figure ci-dessous, de préférence par courriel; toutefois les versions papier seront également considérées.

Caroline Niquette

Spécialiste de l'approvisionnement
Services publics et Approvisionnement Canada
Région du Québec

Solicitation No. - N° de l'invitation
9F064-170198/A
Client Ref. No. - N° de réf. du client
9F064-17-0198

Amd. No. - N° de la modif.
File No. - N° du dossier
MTB-7-40088

Buyer ID - Id de l'acheteur
MTB545
CCC No./N° CCC - FMS No./N° VME

Place Bonaventure, 1^{er} étage
800, rue de la Gauchetière Ouest, Bureau 1100
Montréal (Québec) H5A 1L6

Téléphone : 514-496-3730
Télécopieur : 514-496-3822
Courriel : caroline.niquette@tpsgc-pwgsc.gc.ca

La présente DDR peut faire l'objet de modifications. Le cas échéant, ces modifications seront publiées sur le Service électronique d'appels d'offres du gouvernement. Le Canada demande aux répondants de consulter le site Achatsetventes.gc.ca régulièrement pour vérifier les modifications apportées, le cas échéant.

7. Date de clôture de la DDR

Les réponses à cette DDR devraient parvenir à l'autorité contractante de SPAC identifiée ci-dessus au plus tard le 8 septembre 2017.

Cette date de clôture de la DDR est la date limite pour s'assurer que les commentaires reçus peuvent être traités. Les commentaires seront acceptés jusqu'à ce que la DDP soit publiée (le cas échéant); toutefois, en raison de la date d'affichage prévue pour cette DDP, il est possible que les commentaires tardifs ne puissent être pleinement considérés.

APPENDIX A. Objectifs de la démonstration quantique

La mission de démonstration de QEYSSat a pour but d'établir une liaison quantique entre le sol et l'espace en faisant appel à des photons polarisés pour ensuite transmettre des clés chiffrées à des utilisateurs situés au sol au moyen de cette liaison. Ces clés permettront ensuite de chiffrer et de transmettre l'information de manière sécurisée au moyen de l'infrastructure de communication publique. Ces clés peuvent également servir à régénérer la clé sur le satellite en tant que tel ou être distribuées à une ou plusieurs stations au sol, alors que le satellite sert de nœud de confiance. En atteignant ce but, la liaison quantique sera caractérisée et fera l'objet d'essais dans le but d'acquérir de nouvelles connaissances, comme l'applicabilité des différents types de sources de photons et les modèles de transmission. Le satellite servira à des expériences scientifiques concurrentes avec la liaison quantique à longue distance. Les essais portant sur l'intrication des paires de photons, alors qu'un photon demeure au sol et un autre est placé à bord du satellite, suscitent un intérêt particulier. Les aperçus qu'on peut tirer de cette mission de démonstration nous fourniront de l'information et des stratégies d'atténuation des risques pertinentes pour les missions futures qu'elles soient axées sur des applications ou sur des expériences scientifiques.

Les objectifs spécifiques de la démonstration sont décrits ci-dessous.

A.1. Démonstration de la distribution des clés quantiques sur de longues distances

Les actuels systèmes de distribution des clés quantiques au sol ne peuvent atteindre que des distances d'environ 200 km. L'utilisation d'une plate-forme spatiale en tant que nœud de confiance d'un réseau quantique permettra l'interconnexion de distances arbitraires au sol. Deux stations terrestres ou plus peuvent accéder au satellite lors de son passage afin d'échanger des signaux quantiques avec celui-ci à différents moments.

Le système de satellite transmettra publiquement l'information qui permet aux stations terrestres d'établir entre elles une clé conjointe sécurisée. En principe, on pourrait y arriver à partir de stations terrestres établissant individuellement des clés sécurisées avec le satellite via le système QKD, dont on peut ensuite transmettre la différence binaire aux stations terrestres. De plus, en reliant les liaisons spatiales aux réseaux à fibres terrestres, il est possible d'établir une clé sécurisée entre une paire quelconque d'utilisateurs des deux réseaux très éloignés.

A.2. Démonstration de la régénération de clé du satellite

La clé quantique initiale générée entre le sol et le satellite peut également se révéler utile en tant que telle afin de régénérer les clés cryptographiques dans un satellite opérationnel. On

doit habituellement télécharger une clé cryptographique utilisée sur un satellite avant son lancement pour ensuite la stocker en sécurité à l'intérieur du système pendant toute la durée d'une mission. Les deux principaux défis consistent à protéger les clés cryptographiques pour une longue période, ainsi qu'à préserver l'intégrité de la clé alors qu'elle se trouve dans l'espace. Par contre, la distribution quantique des clés constitue une méthode permettant de rafraîchir les clés à bord d'un système opérationnel. Une application intéressante de cette capacité concerne la remise à clé du système de télémétrie, de poursuite et de commande du satellite. Une autre application pourrait consister à générer des clés pour le chiffrement des données sur la charge utile, comme les données d'imagerie.

A.3. Essai d'intrication quantique à longue distance

L'intrication quantique est une caractéristique intrigante de la nature, alors que les photons ou d'autres particules présentent un comportement en étroite corrélation, même lorsqu'ils sont séparés par des distances ou des durées considérables. En fait, la théorie de la mécanique quantique n'impose fondamentalement aucune limite à la séparation pouvant présenter un phénomène d'intrication. En utilisant une plate-forme quantique spatiale pour procéder aux essais d'intrication, il est possible d'augmenter la distance de séparation entre les photons de manière drastique au-delà de ce qui est possible sur le sol.

Cette mission permettra de démontrer la faisabilité d'établir une intrication quantique entre le sol et l'espace en vue d'un réseau mondial futur de répéteurs quantiques, ainsi que pour les stations au sol non fiables qui présentent une intrication hybride entre l'espace libre et les fibres optiques. De plus, ces essais d'intrication de la mécanique quantique dans les nouveaux régimes peuvent venir confirmer (ou infirmer) les théories actuelles. On s'attend également à ce que des résultats scientifiques intéressants puissent également émerger si les mesures au niveau des photons intriqués se prennent à des potentiels gravitationnels différents, ainsi qu'à des vitesses et des régimes différents qu'on retrouve uniquement sur les plates-formes spatiales. Par conséquent, les essais d'intrication quantique impliquant une plate-forme spatiale viendront approfondir notre connaissance de cette action réciproque entre la physique quantique et l'espace-temps relativiste en plus de confirmer la validité de recourir à l'intrication pour les applications, comme la distribution quantique des clés. Les preuves de sécurité des techniques cryptographiques quantiques, comme le système QKD, reposent implicitement sur l'hypothèse selon laquelle la physique sous-jacente est exacte dans le régime pertinent. L'essai de la théorie d'intrication sur de grandes distances nous offre la possibilité de valider les hypothèses physiques de la sécurité du système QKD dans le régime pertinent des plates-formes spatiales.

A.4. Essai de différentes sources quantiques sur la liaison quantique du satellite

Un canal quantique entre la terre et l'espace repose sur la combinaison d'une source quantique, sur la transmission optique, ainsi que sur des récepteurs quantiques. L'essai du canal quantique du satellite à partir de sources quantiques variées représente un aspect très important lorsqu'on analyse le rendement d'un tel système. Par exemple, la source quantique la plus simple, qui est une source d'impulsions cohérentes faibles (ICF), convient pour réaliser un système QKD sécurisé, mais elle présente une tolérance limitée au bruit et une efficacité de liaison limitée comparativement à une source de photons unique idéale, tel un simple photon extrait d'une paire de photons intriqués ou des photons simples émis à partir d'un même atome. L'étude de telles sources quantiques alternatives pourrait se révéler avantageuse en identifiant des sources qui agissent mieux avec le canal quantique qu'une source d'ICF.

De plus, le choix de la source quantique est fondamentalement lié à l'application pour laquelle on peut utiliser le canal quantique. Parmi les applications de communication quantique les plus importantes, mentionnons un canal faisant appel à une source de photons intriqués pour la distribution d'intrication quantique, un canal faisant appel à une source intriquée à impulsions afin de procéder à la téléportation quantique, ainsi qu'un canal basé sur une mémoire quantique afin de procéder à l'essai de concepts de répéteurs quantiques.

Par conséquent, l'évaluation des caractéristiques d'un canal quantique de satellite à partir de sources quantiques différentes permettra de réaliser le gain le plus important dans le domaine des connaissances scientifiques et appliquées sur la distribution des clés quantiques basées sur satellite, ainsi que sur les autres applications de communications quantiques.

APPENDIX B. Exigences de la mission

B.1. Critères de réussite de la mission

[QEYS-MIS-010-1.1] - [QEYS-URD-0010] - DISTRIBUTION QUANTIQUE DES CLÉS

Description : *La mission DOIT permettre de distribuer au moins 100 kbit de clés sécurisées entre au moins deux stations terrestres, celles-ci étant séparées d'au moins 400 km (but : plusieurs milliers de km).*

Hypothèses et justification :

- La mission doit faire la démonstration du système QKD au-delà des capacités des technologies existantes et vérifier la possibilité de mettre en place un réseau quantique mondial. Pour y parvenir, le satellite échange de l'information convenable avec chaque station au sol afin que les différentes stations au sol puissent établir ensuite une clé sécurisée commune. La longueur de cette clé doit atteindre au moins 100 kbit;
- Le satellite n'est pas tenu d'effectuer le post-traitement complet nécessaire afin de déterminer cette clé sécurisée pour cette tâche – le traitement pourrait possiblement être réalisé par les stations au sol;
- Lorsque la clé est courte entre les stations au sol isolées, il est souhaitable que le traitement complet se déroule à bord du vaisseau spatial afin de faciliter le processus de distribution.
- La séparation la plus grande entre deux de ces stations au sol doit être d'au moins 400 km (ce qui équivaut environ au double de la limite actuelle pour les systèmes terrestres). Le satellite devrait participer à l'échange d'information à tour de rôle avec chacune de ces stations ou, si plus de deux stations sont actives, de manière non consécutive;
- Le satellite doit faire appel à un système approprié de gestion des données lui permettant de relayer l'information nécessaire aux deux stations au sol pertinentes de manière à ce qu'elles puissent reconstruire chacune en toute sécurité une clé commune, qu'on devrait comparer afin de démontrer que les stations ont effectivement reconstruit la même clé;
- La sécurité de la clé distribuée doit être quantifiée en fonction de la probabilité qu'une fuite entraîne un gain permettant de connaître un bit quelconque de la clé qui présente une probabilité inférieure à 10^{-9} ;
- La séparation de la station au sol peut comprendre des stations situées sur différents continents, lorsque cela est possible sur le plan logistique.

[QEYS-MIS-020-1.1] - [QEYS-URD-0020] - DURÉE DE LA MISSION

Description : *La mission DOIT durer au moins 1 an (but : 2 années ou plus).*

Hypothèses et justification :

- Pour être considéré comme un point de départ adéquat pour les applications opérationnelles à venir du système QKD, le système doit être suffisamment robuste pour résister pendant un an aux conditions en vigueur dans l'espace.
- Les applications et les expériences scientifiques de l'avenir viseront probablement des durées plus élevées – mais en tant telle, la mission devrait viser une durée d'au moins deux ans.
- La caractérisation des conditions sur une période d'un an dans les différentes parties du monde est nécessaire afin de pouvoir caractériser les effets de l'environnement sur la liaison quantique.

[QEYS-MIS-030-1.1] - [QEYS-URD-0030] - Rendement du processus de remise à clé des satellites

Description : *La mission DOIT démontrer un échange de clés de 10 kbit à l'intérieur d'un passage unique afin de procéder à la remise à clé du satellite (but : longueurs de clé considérablement supérieures à 10 kbit).*

Hypothèses et justification :

- Pour procéder à la remise à clé des satellites, il est nécessaire de démontrer une distribution des clés quantiques entre les plates-formes au sol et sur satellite.
- Pour cette tâche, le satellite doit réaliser le post-traitement nécessaire afin de déterminer la clé sécurisée.
- Pour être qualifiée de réussie, la mission doit distribuer 10 kbit de clé sécurisée (avec la probabilité d'une fuite réussie inférieure à 10^{-9} , comme dans l'exemple MIS-010-1.1) entre le sol et le satellite lors d'une passe unique favorable.
- Le post-traitement ayant pour but d'extraire la clé sécurisée des détections brutes devrait prendre fin avant un passage subséquent du satellite au-dessus de la même station au sol.

[QEYS-MIS-040-1.1] - [QEYS-URD-0040] - Fiabilité du processus de remise à clé du satellite

Description : *La mission DOIT permettre la remise à clé au moins à 10 kbit pendant 30 jours consécutifs (but : les clés totalisant considérablement plus que 100 kbit devraient être recherchées).*

Hypothèses et justification :

- La capacité de procéder à l'échange des clés doit être fiable. Pour démontrer la fiabilité, des clés sécurisées dont la longueur totalise au moins 100 kbit doivent être distribuées entre une station au sol et le satellite sur une période de 30 jours consécutifs.

[QEYS-MIS-050-1.1] - [QEYS-URD-0050] - Clés courtes

Description : *La mission DOIT démontrer la capacité d'appuyer la distribution régulière de point à point de clés courtes de 256 bits sur un réseau de stations au sol non fiables en établissant une clé sécurisée d'au moins 5120 bits sur une période de 7 jours.*

Hypothèses et justification :

- L'intention consiste à démontrer un service de distribution entre des utilisateurs qui ne sont pas reliés à des réseaux quantiques.
- Le satellite est un nœud fiable qui établit des clés avec des stations isolées.
- Les exigences permettraient de démontrer la mise à jour hebdomadaire sur un réseau de près de 20 stations. Cependant, il n'est pas nécessaire que les stations soient construites aux fins de la démonstration. Les statistiques de liaison seraient utilisées pour établir les paramètres d'un système plus vaste.
- La démonstration préférée consiste à générer les clés à bord lors du passage afin de faciliter la distribution des clés.

[QEYS-MIS-060-1.1] - [QEYS-URD-0060] - Intrication quantique à longue distance

Description : *La mission DOIT procéder à un essai de Bell pour les photons intriqués qui sont séparés d'une distance de plus de 400 km (but : 1000 km ou plus).*

Hypothèses et justification :

- L'essai canonique d'intrication quantique est un essai de Bell, alors que les corrélations observées des résultats des mesures de chaque photon excèdent les corrélations attendues pour un modèle classique intuitif (c'est-à-dire qui n'est pas de nature quantique). Un essai de Bell réussi est un essai dont le paramètre Bell mesuré est strictement supérieur à 2 (au-delà de 3 écarts types, pour garantir la certitude sur le plan statistique).
- L'intrication à longue distance doit être démontrée en procédant à un essai de Bell alors que les photons sont séparés par une distance supérieure à 400 km, ce qui représente environ le double de la distance réalisable par les systèmes au sol.
- L'essai de Bell doit réussir, à moins qu'il ne soit possible d'éliminer raisonnablement une panne de l'appareil en tant que telle, à la satisfaction des utilisateurs et de l'équipe scientifique, comme étant la cause d'un paramètre Bell mesuré inférieur à 2. Un tel résultat équivaldrait à une découverte scientifique fondamentale.

[QEYS-MIS-070-1.1] - [QEYS-URD-0070] - Sources quantiques

Description : *La mission DOIT permettre de caractériser le rendement de la liaison quantique au sol avec au moins les deux types suivants de sources quantiques : 1) Source de photons intriqués; 2) Source d'impulsions cohérentes faibles (ICF) (but : le système devrait être en mesure d'accepter un ensemble de sources)*

Hypothèses et justification :

- Les autres sources d'intérêt peuvent comprendre les sources du centre vide d'azote, des points quantiques, des sources de vapeur atomique, ainsi que des mémoires quantiques à semiconducteurs.

Le recours à une source de paires de photons intriqués permettra de mettre véritablement en œuvre le protocole BBM92, alors qu'une paire de photons intriqués doit être transmise sur le réseau terrestre pour y être mesurée, tandis que l'autre photon est acheminé vers le satellite. On pourrait utiliser cette opération pour démontrer la production d'une clé que seuls l'utilisateur final et le satellite connaissent, alors que la station au sol ignore et ne peut connaître la clé.

[QEYS-MIS-080-1.1] - [QEYS-URD-0080] - Documents sur la détection des photons

Description : *Les données recueillies lors de la mission doivent servir à l'amélioration des connaissances environnementales et des hypothèses utilisées dans les budgets de liaison quantique afin de faciliter la conception des systèmes de l'avenir.*

Hypothèses et justification :

- Les données recueillies devraient permettre de mieux comprendre et de modéliser l'effet parasite de fond, les pertes atmosphériques, les variations de moment, la pureté du processus de polarisation, l'occultation du faisceau attribuable à la turbulence, etc. en fonction des paramètres du système et de l'environnement.
- La collecte de données doit s'effectuer le plus souvent possible, sans compromettre les autres objectifs scientifiques, afin de produire ainsi un maximum de statistiques sur une période recoupant quatre saisons différentes dans un même endroit dans le but de caractériser toutes les conditions environnementales (le but consiste à couvrir deux cycles saisonniers complets).
- Notre but, l'écart type de l'erreur par rapport à la moyenne devrait être d'environ 5 %. (On peut mettre fin à la collecte de données dès qu'on atteint ce niveau de confiance.)

Solicitation No. - N° de l'invitation
9F064-170198/A
Client Ref. No. - N° de réf. du client
9F064-17-0198

Amd. No. - N° de la modif.
File No. - N° du dossier
MTB-7-40088

Buyer ID - Id de l'acheteur
MTB545
CCC No./N° CCC - FMS No./N° VME

-
- Notre but, utiliser des stations présentant des conditions géographiques et environnementales différentes aux fins de la caractérisation.
 - Notre but, recueillir des renseignements comparables pour le système de guidage du faisceau optique en plus de permettre la comparaison (en particulier en ce qui concerne la fluctuation de la liaison et le moment) avec la liaison quantique.

APPENDIX C. Buts de la mission

[QEYS-MIS-090-1.1] - [QEYS-URD-0090] - Interface entre les liaisons quantiques sur satellite et au sol

Description : *Cette mission DEVRAIT démontrer l'interface entre les liaisons quantiques sur satellite et les liaisons quantiques au sol.*

Hypothèses et justification :

- Même si un segment au sol peut suffire afin de démontrer la validation de principe de cette technologie, la mission vise à démontrer l'application représentative en faisant appel à deux stations au sol situées au moins à 400 km l'une de l'autre.
- Le déploiement d'un système QKD sur satellite n'invalide aucunement les liaisons quantiques au sol pour les applications locales – en effet, les deux sont nécessaires afin de permettre la mise sur pied d'un réseau mondial et pour répondre aux exigences canadiennes en matière de communications sécurisées. Même s'il est important de présenter ce système QKD sur satellite en liaison avec un système QKD au sol afin de pouvoir diffuser davantage la clé sécurisée entre les emplacements des différents utilisateurs, la portée de cette mission ne comprend pas le développement d'une liaison à fibres optiques reliant le poste au sol à un utilisateur situé à portée de la liaison au sol.
- La méthode préférée de démonstration de cette liaison (si une liaison quantique au sol n'est pas disponible), dans le cas du protocole BBM92, consisterait à transmettre une paire de photons intriqués sur le réseau terrestre, afin de la mesurer à cet endroit, alors que l'autre photon est acheminé vers le satellite. On pourrait utiliser cette opération pour démontrer la production d'une clé que seuls l'utilisateur final et le satellite connaissent, alors que la station au sol ignore et ne peut connaître la clé.

[QEYS-MIS-100-1.1] - [QEYS-URD-0100] - Confirmation des clés lors de la remise à clé du satellite

Description : *Cette mission DEVRAIT permettre de vérifier que la clé échangée entre le sol et le satellite est intacte et disponible au niveau de la plate-forme du satellite.*

Hypothèses et justification :

- Lors de la remise à clé d'un satellite, il est primordial que la nouvelle clé du satellite soit identique à la clé au sol. Pour démontrer que tel est le cas, la clé calculée par le satellite sera transmise à la station au sol pour la comparer à la clé produite à cet endroit.

[QEYS-MIS-110-1.1] - [QEYS-URD-0110] - Certification de sécurité

Description : *La mission DEVRAIT permettre d'enquêter sur les différents aspects de la certification de sécurité.*

Hypothèses et justification :

- On constate à l'heure actuelle un intérêt considérable en ce qui concerne le recours à des processus de certification de sécurité lors de la mise en œuvre du système QKD. Alors que cette mission ne vise pas à répondre aux exigences strictes qu'impliquerait une telle certification, des essais allant à l'encontre de ces exigences et des imperfections au niveau d'un dispositif possiblement exploitable seraient profitables au développement de déploiements futurs. Ces essais peuvent comprendre, par exemple, des tentatives visant à occulter temporairement les détecteurs en dirigeant des impulsions laser relativement intenses vers le récepteur à partir d'une autre station au sol.
- Le système QEYSSat en tant que tel n'est pas destiné à la certification complète.

[QEYS-MIS-120-1.1] - [QEYS-URD-0120] - Canal quantique de liaison montante et de liaison descendante

Description : *Cette mission DEVRAIT permettre de caractériser le canal quantique de la liaison montante et de la liaison descendante entre le sol et le satellite.*

Hypothèses et justification :

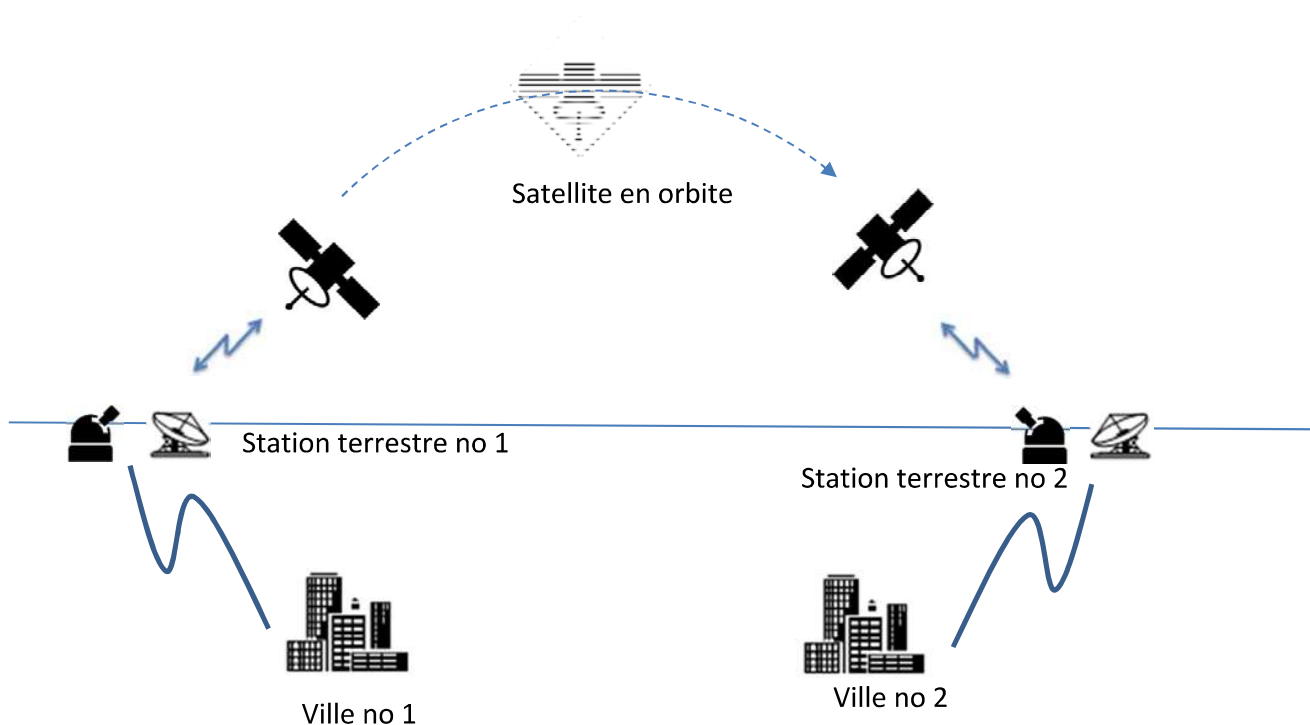
- Nous nous attendons à ce que les sources quantiques principales soient situées sur le sol. Une alternative consiste à placer une source quantique à bord du satellite (liaison descendante). La plate-forme du satellite devrait contenir au moins une ou plusieurs sources quantiques (telle une source d'ICF ou une source de photons intriqués). Les statistiques de liaison seront recueillies pour cette source, au moyen d'un récepteur au sol, afin de déterminer s'il convient pour les communications quantiques. Cette source peut être utilisée pour démontrer la distribution des clés quantiques.
- Le concept actuel permettrait d'ajouter un autre module. Si on parvient à trouver un partenaire, on pourrait travailler en collaboration.

APPENDIX D. Concept des opérations de la mission QEYSSat

D.1. Aperçu de la mission

L'objectif de la mission proposée consiste à créer une liaison quantique entre le sol et l'espace en faisant appel à des photons polarisés et en établissant les clés de chiffrement pour les utilisateurs au sol au moyen de cette liaison.

On utiliserait les satellites en tant que nœud de confiance pour combler les écarts de distance entre les réseaux QKD au sol, par exemple, entre des villes et des continents.



Le système proposé repose sur une liaison montante de photons quantiques entre le sol et un satellite. La source quantique est située au niveau de la station au sol, alors que le récepteur quantique (détecteurs de polarisation des photons) se trouve à bord du satellite.

En plus des sources et des récepteurs quantiques, les systèmes classiques pour cette mission comprennent les sources de balises à laser et les récepteurs aux deux extrémités, servant à l'acquisition des liaisons, à la surveillance de la polarisation et à la compensation, ainsi qu'au pointage précis pour la liaison quantique. Un processus d'alignement d'horloge pour

l'horodatage précis des photons est également essentiel. En plus de la communication quantique, la communication classique faisant appel à des liaisons de communication à radiofréquences (RF) sera utilisée. Les liaisons optiques au sol entre les nœuds fiables ne feront pas l'objet d'une démonstration au cours de cette mission.

D.2. Orbite

Les facteurs primaires pour le choix de l'orbite reposent sur le fait que la liaison quantique optique fonctionnera uniquement lorsque la station au sol et le satellite se trouveront dans la noirceur, alors que système RF doit bénéficier d'un temps d'accès suffisant pour appuyer le transfert des données nécessaires. Une couverture mondiale est également souhaitée. Aucun maintien sur orbite n'est nécessaire pour la mission d'une durée d'un an.

Le satellite devrait être placé dans un angle d'inclinaison élevé afin d'assurer des passages réguliers pendant la nuit. On a fait appel à une orbite héliosynchrone à 600 km à midi et à minuit pour l'analyse de liaison quantique, mais l'orbite finale dépendra des fenêtres de lancement disponibles. Tout dépendant de l'orbite réelle et de l'emplacement des stations au sol, entre un et trois passages dans l'obscurité peuvent être possibles la nuit, mais on ne peut utiliser que des passages par ciel dégagé.

D.3. Composante spatiale

Dans sa forme la plus simple, les principaux éléments de la charge utile peuvent se décrire comme suit :

- Un récepteur quantique afin de détecter la polarisation des photons;
- Un récepteur et un émetteur de balise laser pour faciliter le pointage et la poursuite entre l'espace et le sol;
- L'ordinateur principal qui traite les renseignements quantiques, procède à leur horodatage, produit une clé et emballe l'information en vue de la télécharger.

La plate-forme spatiale de base est nécessaire afin d'assurer le contrôle d'assiette (pointage), le traitement des commandes et des données, le conditionnement d'alimentation, la communication RF avec le sol, la navigation à partir des satellites GPS, le soutien structural, le conditionnement thermique, etc.

D.4. Composante au sol

Cette mission vise à procéder à une démonstration d'application représentative, alors que deux stations au sol sont nécessaires pour répondre au besoin de l'utilisateur qui consiste à distribuer une clé à deux stations au sol situées à 400 km l'une de l'autre.

Les segments au sol comprennent :

- Un télescope permettant de détecter les photons de la balise à laser provenant du satellite;
- Une balise à laser facilitant le pointage et la poursuite du satellite;
- Une antenne RF afin de communiquer avec le vaisseau spatial, mais il n'est pas nécessaire que celle-ci se trouve au même endroit que le télescope;
- Des ordinateurs au sol afin de contrôler le pointage du télescope, procéder au traitement QKD et éventuellement servir d'interface avec un réseau QKD au sol.

L'interface entre le segment au sol et le réseau QKD au sol ne fait pas partie des exigences de la mission.

D.5. Composante de lancement

Puisqu'il s'agit d'un microsatellite, il ne représentera pas la charge utile principale à bord de sa fusée qui la mènera dans l'espace, alors que le choix de l'orbite finale dépendra des fenêtres de lancement disponibles.

L'entrepreneur principal des phases B à D du QEYSSat sera également responsable pour obtenir le service de lancement du satellite. Le concept de microsatellite proposé devrait s'adapter facilement aux différentes rampes de lancement disponibles sur le marché, telle Falcon-9 ou PSLV.

D.6. Concept des opérations

En mode nominal, alors que le satellite est en plein jour, il est possible de l'orienter de manière à maximiser la production d'énergie tout en protégeant ses systèmes optiques du soleil. Lorsque le satellite se trouve dans l'ombre de la Terre, la transmission quantique est possible. Alors qu'il s'approche d'un poste au sol quantique, il pivote de manière à diriger la balise de poursuite à l'endroit où la station au sol apparaît sur l'horizon pour ensuite suivre la station au sol au cours de son passage. Une fois détectés, les signaux de la balise serviront à entraîner les systèmes de pointage fin et la liaison quantique sera acquise. Trois options sont possibles pour l'activité de passage : production de clés quantiques, expérience du type essai de Bell ou autres activités de mise en service ou de caractérisation. L'activité de passage déterminera les données qui sont transmises au sol, soit presque en temps réel à une station RF colocalisée ou à un moment ultérieur vers une station extérieure.

Solicitation No. - N° de l'invitation
9F064-170198/A
Client Ref. No. - N° de réf. du client
9F064-17-0198

Amd. No. - N° de la modif.
File No. - N° du dossier
MTB-7-40088

Buyer ID - Id de l'acheteur
MTB545
CCC No./N° CCC - FMS No./N° VME

APPENDIX E. Possibilité de démonstration technologique : Charge utile secondaire potentielle

L'ASC est déterminée à soutenir le développement des capacités industrielles canadiennes dans le domaine des technologies spatiales afin d'accroître le potentiel commercial de l'industrie canadienne et leur garantir leur juste part de la nouvelle économie spatiale.

En vertu du Cadre de la politique spatiale du Canada, le gouvernement du Canada insiste sur le fait que l'espace offre sur le plan commercial plus de possibilités que jamais auparavant. Par conséquent, il n'est pas étonnant qu'un de ses principes de base consiste à « Positionner le secteur privé à l'avant-scène des activités spatiales ». Dans le cadre, on précise également que l'innovation représente un élément vital de l'industrie spatiale et que cette innovation repose sur la recherche et le développement (R et D). En collaborant avec l'industrie, le gouvernement du Canada encouragera les possibilités dans le domaine de la R et D et dans l'innovation en augmentant le soutien qu'il accorde au développement technologique, en particulier dans les domaines dont on a prouvé la force, comme la robotique, l'optique, les communications par satellite et les radars dans l'espace, ainsi que dans les nouveaux domaines d'expertise.

Il est donc primordial que l'industrie spatiale canadienne demeure solide, prospère et pertinente, et qu'elle soit apte à répondre aux exigences nationales et en plus de se doter du niveau de compétitivité requis pour s'octroyer une juste part des marchés commerciaux et institutionnels mondiaux. Ce n'est qu'au moyen de l'innovation et d'investissements continus dans la R et D que le Canada peut faire en sorte d'avoir l'ampleur et la portée dont il a besoin sur le plan industriel pour demeurer un joueur digne d'intérêt sur l'échiquier international.

Une des composantes du mandat du programme de démonstration des capacités de l'ASC consiste à appuyer le développement, le maintien et l'amélioration des capacités technologiques industrielles dans le domaine spatial qui présentent une importance stratégique pour le Canada en misant sur les possibilités fréquentes de vol sur les différentes plates-formes. Ce programme vise à favoriser la réceptivité de l'industrie à la demande future du marché et à maintenir sa position concurrentielle à l'échelle mondiale.

Cette DDR a pour but de déterminer les technologies spatiales qui pourraient possiblement accroître les avantages d'une démonstration de vol à bord du vaisseau spatial QEYSSat en tant que charge utile secondaire potentielle. On encourage les industries canadiennes à soumettre leurs idées relatives à la démonstration de vol de la charge utile secondaire potentielle en répondant à cette DDR.

Solicitation No. - N° de l'invitation
9F064-170198/A
Client Ref. No. - N° de réf. du client
9F064-17-0198

Amd. No. - N° de la modif.
File No. - N° du dossier
MTB-7-40088

Buyer ID - Id de l'acheteur
MTB545
CCC No./N° CCC - FMS No./N° VME

On s'attend à ce que l'auteur de la proposition assume tous les coûts associés à la charge utile secondaire potentielle, y compris, mais sans s'y limiter; le développement, l'intégration, les essais, l'incrément de lancement et les opérations. On encourage donc l'industrie à préciser les paramètres en ce qui concerne les coûts de la charge utile secondaire potentielle en répondant à cette DDR. Il est important que la charge utile secondaire potentielle n'ait aucun impact au niveau du QEYSSat sur les plans des coûts, de l'échéancier et de la complexité des activités d'AIE (assemblage, intégration et essai).

APPENDIX F. Mesures de réduction des coûts

Pour que le Canada puisse conserver son avantage sur la concurrence, augmenter sa productivité et favoriser l'innovation, nous devons nous efforcer constamment d'améliorer le climat des affaires. Le gouvernement du Canada est déterminé à trouver de nouveaux moyens de travailler avec l'industrie dans le but de simplifier la livraison de mission spatiale.

Ainsi, les responsables de la mission QEYSSat s'efforceront d'établir une nouvelle norme en ce qui a trait aux missions de R et D du gouvernement. Nous ferons appel à la prochaine étude de la phase A dans le but d'identifier des mesures précises qu'on pourrait mettre en place afin de réduire le temps de nos missions et le coût de mise en œuvre des nouvelles technologies innovatrices dans le domaine spatial. Ces mesures pourraient consister à :

- simplifier les processus d'approbation réglementaire;
- réduire les exigences en matière de rapports et les demandes d'information; et
- améliorer la coordination des activités de conformité et d'exécution.

Voici quelques autres idées et suggestions précises visant à simplifier la gestion de notre mission de démonstration :

- établissement d'un système de classification des risques inhérents aux missions qui orientera la philosophie de conception et d'essai, et mise en place de stratégies appropriées d'assurance et de gestion des risques des missions;
- rationalisation et réduction du nombre d'exigences en matière de documentation en plus d'accroître la flexibilité relative au contenu et au format;
- recours à des examens par les pairs plutôt qu'aux examens techniques officiels qui présentent un système de mesures correctives à boucle ouverte pour « assurer le bon fonctionnement »;
- accroître la flexibilité en ayant recours à des écarts ou à des dérogations (au besoin) afin de maximiser la réussite de la mission et pour encourager l'innovation;
- plutôt qu'une norme imposée par l'ASC, établir un cadre de normes mutuellement convenues en matière d'assurance du produit (AP)/assurance de la qualité (AQ) pour l'ASC et l'entrepreneur.
- Faire appel à des composantes commerciales et à des pièces à faible valeur patrimoniale.

APPENDIX G. Mission basée sur des technologies spatiales

QEYSSat se veut une porte d'entrée révolutionnaire afin d'amener les réalisations de la recherche quantique universitaire dans le domaine des technologies de l'espace et les applications mondiales dans les domaines, comme les communications et la cybersécurité. En tant que telle, l'ASC considère d'une importance critique que le leadership scientifique qu'on a mis en place lors des études, des développements technologiques et des démonstrations terrestres de QEYSSat demeurent en poste au cours de toutes les phases de la mission [1 à 5]. À cette fin, l'Institut informatique quantique (IIQ) de l'Université de Waterloo dirigera le soutien scientifique QEYSSat assuré par les intervenants du gouvernement du Canada et le développement d'applications et de démonstrations du système QKD, en plus d'offrir l'expertise nécessaire à l'équipe industrielle et d'appuyer le bureau de gestion de projet de l'ASC.

Pour assurer la continuité à toutes les phases de la mission, l'ASC entend consacrer au cours des phases A à E un financement exclusif distinct des contrats de développement industriel.

On s'attend à ce que l'IIQ bénéficie de l'appui d'autres institutions scientifiques canadiennes qui occupent une place importante dans le domaine.

Références :

1. Site Web de QEYSSat : <https://uwaterloo.ca/institute-for-quantum-computing/geyssat>
2. Pugh, C.J.; Kaiser, S.; Bourgoin, J.P.; Jin J.; Sultana, N.; Agne, S.; Anisimova, E.; Makarov, V.; Choi, E.; Higgins, B.L.; Jennewein, T. "Airborne demonstration of a quantum key distribution receiver payload", Quantum Physics, <https://arxiv.org/abs/1612.06396>
3. Bourgoin, J.P.; Gigov, N.; Higgins, B.L.; Yan, Z.Z.; Meyer-Scott, E.; Khandani, A.K.; Lutkenhaus, N.; Jennewein, T. "Experimental quantum key distribution with simulated ground-to-satellite photon losses and processing limitations", Physical Review A, Vol. 92, 12 pages (2015).
4. Bourgoin, J.P.; Higgins, B.L.; Gigov, N.; Holloway, C.; Pugh, C.J.; Kaiser, S.; Cranmer, M.; Jennewein, T. "Free-space quantum key distribution to a moving receiver", Optics Express, Vol. 23, 33437-33447 pages (2015).
5. Jennewein, T.; Bourgoin, J.P.; Higgins, B.; Holloway, C.; Meyer-Scott, E.; Erven, C.; Heim, B.; Yan, Z.; Hubel, H.; Weihs, G.; Choi, E.; d'Souza, I.; Hudson, D.; Laflamme, R. "QEYSSAT: a mission proposal for a quantum receiver in space", Advances In Photonics of Quantum Computing, Vol. 8997, 7 pages (2014).

APPENDIX H. Formulaire de commentaires sur la DDR

On encourage les répondants à cette DDR à nous faire part de leurs commentaires en remplissant ce formulaire. Les répondants peuvent joindre à ce formulaire toute autre information pertinente qu'ils jugent nécessaire.

Nom de l'organisation :

Personne-ressource (nom, adresse, numéro de téléphone, adresse de courriel) :

Catégorie (industrie, science et application, autre) :

Rôle au niveau de QEYSSat (fournisseur, intégrateur de système, fournisseur de services, soutien scientifique, etc.) :

Courte description du rôle proposé dans le cadre du projet QEYSSat (environ 1 page) :

Calendrier de développement de la mission QEYSSat (le cas échéant) :

Coût approximatif de la mission QEYSSat (le cas échéant) :

Arrangements prévus pour l'équipe (le cas échéant) :

Nom de la charge utile secondaire potentielle (le cas échéant) :

Description et avantages industriels de la charge utile secondaire potentielle (le cas échéant) :

Calendrier de développement de la charge utile secondaire potentielle (le cas échéant) :

Coût approximatif et options de financement de la charge utile secondaire potentielle (le cas échéant) :

Conditions, idées et propositions ayant pour but de réduire le temps de réalisation :

Autres commentaires (le cas échéant) :
