

**Cette demande de renseignements (DR) n'est pas une demande de propositions et aucun contrat ne sera accordé uniquement en raison de celle-ci.**

**Note aux fournisseurs intéressés :**

Il n'y a aucun engagement d'achat ou d'émission de contrat futur de la part du Canada. La publication de cette DR n'oblige pas le Canada à publier une demande de propositions subséquente et ne l'engage pas légalement ou autrement à conclure une entente ou à accepter ou rejeter les suggestions qui lui sont faites. Cette DR n'aura pas pour conséquence l'établissement de listes d'entreprises soumissionnaires admissibles pour effectuer un travail ultérieur. Dans le même ordre d'idées, la participation à cette DR ne constitue pas une condition ou un préalable pour participer à une demande de propositions.

Aucune indemnité ne sera payée pour les renseignements demandés. Les fournisseurs doivent, à leurs frais, assumer l'entière responsabilité des dépenses engagées dans le cadre de cette démarche.

Même si les documents, renseignements ou données recueillis sont considérés comme étant de nature commerciale confidentielle et ne seront pas fournis à un tiers à l'extérieur du Canada, le Canada se réserve le droit d'utiliser les renseignements aux fins de rédaction d'une ébauche des spécifications et de planification budgétaire.

Les fournisseurs sont avisés que tout renseignement soumis au Canada en réponse à cette DR peut ou non être utilisé par le Canada dans l'élaboration d'une demande de propositions éventuelle. Les fournisseurs qui répondront à cette DR doivent préciser si les renseignements fournis sont de nature confidentielle ou exclusive ou si leur réponse comprend des renseignements sur des marchandises contrôlées.

TITRE :

Conception et fabrication de détecteurs lidars à très haute sensibilité

1.0 Généralités

Recherche et développement pour la défense Canada – Centre de recherches de Valcartier, envisage acquérir un détecteur capable de fournir des spectres de fluorescence induit par laser provenant d'aérosols atmosphériques. Le détecteur devra pouvoir se connecter sur un spectromètre commercial qui lui-même sera connecté sur une plateforme LIDAR comprenant un émetteur et un récepteur déjà en opération. L'objectif est d'obtenir par balayage, des images spectrales de la fluorescence induite par laser (signal très faible) en fonction de la distance au LIDAR (transitoire très rapide).

1.1 Signal de fluorescence induite par laser et système optique

Certaines molécules contenues dans des aérosols atmosphériques sont susceptibles d'émettre de la fluorescence lorsqu'illuminées par une lumière ultraviolet (UV). La lumière émise reflète les caractéristiques de la composition des aérosols et est influencée par la taille des particules.

Le niveau de signal retourné dépend de la capacité de fluorescence (Efficacité Quantique) des aérosols et de leur concentration. Typiquement, le niveau du signal retourné dans un canal spectral est de l'ordre de quelques photons au maximum pour une résolution en portée de 30 à 60 ns s'étendant sur une gamme de longueur d'onde d'environ 10 nm de largeur spectrale localisée entre 350nm et 600nm. La gamme dynamique sur laquelle le détecteur devrait pouvoir fonctionner s'étend de 100kHz à 3GHz en termes de taux d'arrivés de photons. Les technologies envisageables doivent être en mesure de fournir pour des échantillons en portée variant de 5 à 10 mètres des mesures spectrales sur des portées allant de 200 à 5000 mètres.

## 1.2 Systèmes existants

Parmi les dispositifs actuellement utilisés pour réaliser des mesures spectrales de fluorescence, on compte des caméras ICCD (Intensified charged coupled device) et des détecteurs opérant en comptage de photons basés sur des matrices de cellules photomultiplicatrices. Les ICCD ne sont pas en mesure de fournir plusieurs mesures le long d'un même rayon et les détecteurs en comptage de photons ne possèdent pas la plage dynamique requise pour l'application recherchée.

## 1.3 Acronymes :

ICCD : Intensified Charge Coupled Device

LIDAR : Light Detection And Ranging

RDDC: Recherche et Développement pour la Défense Canada

ROIC : ReadOut Integrated Circuit

SIPM: Silicon PhotoMultiplier

SPAD : Single Photon Avalanche diode

UV: Ultra Violet

## 2.0 Description du besoin

### 2.1 Technologies potentielles

Les technologies qui seront proposées devront faire la mesure en permettant l'estimation des comptes de photons soit par l'utilisation de méthodes analogiques; numériques ou hybrides. Des exemples de technologies potentielles sont donnés plus bas. Les paramètres les plus importants à respecter sont : la capacité de fournir des mesures spectrales de la fluorescence pour un minimum de 32 canaux spectraux s'étendant entre 350 et 600 nm; la capacité de fournir un échantillonnage selon la portée entre 200 et 5000 mètres; des intervalles d'échantillonnage fournissant une résolution en portée variant entre 5 et 10 m; un courant de noirceur ou un taux de comptes de noirceur inférieur ou égal à 100 kHz par canal en terme de nombre d'événements (photons détectés) et pour une linéarité correspondant à 50% un taux d'arrivés de photons de l'ordre de 15GHz. Les technologies décrites plus bas ne sont pas limitatives et sont fournies à titre de technologies potentielles capables d'atteindre les objectifs

requis. Les entreprises peuvent soumettre des solutions différentes si elles présentent un potentiel permettant d'atteindre les objectifs de RDDC.

## 2.2 Paramètres généraux du système

Le tableau 1 ci-dessous montre les paramètres généraux qu'un dispositif devrait satisfaire.

Paramètres	Valeur minimale	Valeur maximale	Unités
Résolution en portée	1	10	mètres
Portée	200	5000	mètres
Sensitivité par canal	0.1	-----	MHz (photons)
Maximum des comptes de photons par canal	-----	15000	MHz (photons)
Fréquences des impulsions laser	200	10000	Hz
Gamme dynamique	45	-----	dB
Efficacité quantique	20	-----	%
Longueur d'onde minimum	350	-----	nm
Gamme spectrale	350	600	nm
Interférence interdétecteur (Crosstalk)	0	10	%
Post impulsion (Afterpulse)	0	10	%
Compte de noirceur par canal	-----	100	kHz
Dimension du capteur	-----	40	mm

## 2.3 Définition des paramètres :

**Résolution en portée** : L'intervalle d'échantillonnage en distance.

**Portée** : intervalle en distance sur lequel le lidar doit être en mesure de faire l'acquisition de données

**Sensitivité par canal** : Capacité de détection des photons en supplément du bruit de fond des détecteurs.

**Maximum des comptes de photons par canal** : Le nombre de photons en entrée pour une linéarité de 50% dans le canal. La linéarité de 50% implique pour une variation du signal d'entrée donnée, la sortie du détecteur varie de 50% par rapport à la sortie du détecteur soumis à une même variation du signal d'entrée lorsque le signal est faible.

**Fréquences des impulsions laser** : La fréquence à laquelle le laser est pulsé. Ce paramètre est important pour la transmission de données vers l'extérieur du détecteur. Le ROIC pourrait intégrer une capacité d'addition des résultats provenant d'un certain nombre de pulses laser consécutifs.

**Gamme dynamique** : L'intervalle de puissance sur lequel le détecteur doit être en mesure de répondre. Le niveau minimal est constitué par la limite de sensibilité et la limite supérieure est le niveau auquel le détecteur est linéaire à 50%. Comme exemple, un détecteur ayant 10 m de résolution en portée et 100kHz de courant de noirceur aura un taux de déclenchement spontané de 0.67%. L'écart type correspondant à ce niveau est de 0.082. On comprendra que cette limite de sensibilité est théorique et requiert en fait plusieurs mesures avant de confirmer que le niveau de signal est bel et bien au-dessus de la limite de sensibilité.

**Efficacité quantique** : Proportion des photons incidents sur le détecteur qui génèrent des événements de détection.

**Longueur d'onde minimum** : Longueur d'onde la plus courte avec laquelle le détecteur possède 30% de sa capacité maximale de détection.

**Gamme spectrale** : Gamme minimum sur laquelle le détecteur est fonctionnel c'est à dire qu'il possède 30% de son maximum de sensibilité.

**Interférence inter-détecteurs (Crosstalk)** : Proportion des détections qui engendrent des événements de détection dans les détecteurs voisins. Lors de l'avalanche produite par la détection d'un photon, d'autres photons sont potentiellement émis ainsi que des électrons libres. Ces particules émises peuvent se propager et engendrer des événements de détections dans un détecteur voisin.

**Post impulsion (Afterpulse)** : La post impulsion est le déclenchement subséquent à un déclenchement précédent d'un même détecteur et qui est directement relié à ce dernier. Après l'étouffement, il peut subsister des porteurs de charges susceptibles d'engendrer une impulsion secondaire après la remise en opération d'un détecteur.

**Compte de noirceur par canal** : Un détecteur est susceptible de se déclencher spontanément, car les détecteurs sont polarisés au-dessus de leur tension de rupture.

**Dimension du capteur** : Dimension la plus grande du détecteur complet.

#### 2.4 Méthode analogique (SIPM : Silicon PhotoMultiplier)

Les SIPM sont des détecteurs construits à partir de SPAD (Single Photon Avalanche Diode). Ces diodes avalanches sont opérées au-dessus de leur tension de rupture et peuvent être déclenchées par 4 types d'événements : spontanément (courant de noirceur); par l'arrivée d'un photon; par une post-impulsion ou par interférence interdétecteur. Ces détecteurs sont disponibles commercialement, mais devront vraisemblablement être assemblés différemment.

Dans le cas où une solution analogique appuyée sur des SIPM serait envisagée croyez-vous pouvoir offrir des solutions aux problèmes suivants ? :

- a) Assemblage d'une matrice linéaire ou bidimensionnelle de SIPM ayant un minimum de 32 canaux;  
Dans un canal spectral, on pourrait devoir ajouter des détecteurs perpendiculairement à l'étalement spectral pour accroître la plage dynamique du détecteur
- b) Alimentation électrique du détecteur;  
Les SIPM requièrent une alimentation électrique de l'ordre de 30 à 35 volts pour les polariser au-dessus de leur tension de rupture. Cette tension devra être uniforme et contrôlable par l'utilisateur au moyen d'un système externe de commande.
- c) Électronique de traitement de signal : Amplificateur transimpédance; amplification de mise à niveau du signal; filtrage de limitation de bandes;  
Chacun des canaux devra être semblable à ses voisins. Les SIPM fournissent un courant qui dépend de l'intensité lumineuse qui les éclaire. L'amplificateur transimpédance agit comme convertisseur avec gain courant-tension et doit ajouter le moins de bruit possible. Le filtrage sert à restreindre la bande de fréquence du détecteur pour permettre l'échantillonnage du signal.
- d) Échantillonnage numérique;  
L'échantillonnage doit couvrir une plage dynamique d'environ 14bits de manière à fournir un faible bruit d'échantillonnage et à couvrir toute la gamme dynamique requise.
- e) Système de traitement primaire de l'information;  
Le système de traitement primaire de l'information incorpore les composants qui permettent de stocker les informations préalablement à leur transfert vers l'extérieur. Dans le cas d'un LIDAR opérant à 200Hz sur 5km avec des intervalles de 5m avec 32 canaux spectraux et 14 bits d'échantillonnage, on aura un taux de transmission de : 90Mbits/secondes et à 10kHz on aura 4.5GBits/secondes. Il se pourrait qu'on doive combiner avant transmission les informations provenant de plusieurs impulsions laser. La combinaison pourrait vouloir dire que le système de traitement primaire de l'information soit capable d'appliquer une linéarisation sur les données de même que les corrections requises pour diminuer l'impact du courant de noirceur; des interférences interdétecteurs et des post-impulsions.
- f) Système de transfert des données :  
Le détecteur doit être connecté sur un ordinateur pour faire le transfert de données. Étant donné les taux de transmission requis, on devra élaborer un processus adéquat de transfert des données appuyés sur des technologies existantes.

## 2.5 Méthode par comptage de photons (Matrice de SPADs)

Les SPADs sont des diodes avalanches particulières qui sont commutées par la détection d'un photon. Une SPAD déclenchée doit être étouffée avant d'être remise en opération. Ce processus peut être actif ou passif selon le besoin ou la conception particulière de la SPAD. Les SPADs

individuelles sont susceptibles d'être déclenchées spontanément (compte de noirceur); elles peuvent aussi subir des post impulsions et sont susceptibles à des interférences interdétecteurs lorsque disposées en matrice. Il est vraisemblable que des technologies différentes soient requises pour la construction de la matrice de SPADs et la construction du circuit de contrôle et de transfert de données. Pour ce faire, deux circuits intégrés différents pourraient devoir être construits : la matrice de SPAD proprement dite et un circuit ROIC (ReadOut Integrated Circuit). L'entrepreneur pourrait être appelé à fournir la solution qui conviendrait le mieux à la résolution du problème. La matrice de SPAD ainsi construite sur un circuit intégrée pourrait être constituée de détecteurs individuels indépendants possédant chacun une borne d'alimentation et une borne signal. Le ROIC quand à lui aura les fonctions suivantes :

Au niveau contrôle individuel des SPADs (pixellaire)

- A) Connexion à la matrice de SPAD par ses bornes d'alimentations et de signal  
La matrice de SPAD, si elle n'est pas intégrée directement avec son circuit de commande, devra être fixée sur un ROIC.
- B) Capacité de détection de la commutation de la SPAD  
Quand une SPAD est déclenchée, elle devient analogue à une source de courant. Un circuit au niveau pixellaire du ROIC doit être construit pour faire la détection de ce changement d'état.
- C) Capacité d'étouffement de la SPAD  
Une SPAD doit être étouffé (Quenched) après son déclenchement. Ce processus pour être réalisé requiert un dispositif dédié pour chacune des SPADs. L'étouffement est soit actif soit passif. Un exemple de dispositif passif est constitué par un condensateur en parallèle avec une résistance placée en série avec la diode. Lorsque la diode est déclenchée, le condensateur se charge et la différence de potentiel dans la diode diminue sous la tension de rupture. Le courant s'interrompt et la diode est progressivement polarisée, car le condensateur se décharge lentement dans la résistance. Dans un dispositif actif, la polarisation de la SPAD est coupée aussitôt qu'un changement d'état (établissement d'un courant) est détecté. Un certain délai est appliqué avant de polariser à nouveau la SPAD avec comme objectif de maintenir les post-impulsions sous un certain taux.
- D) Réception des commandes externes (activation ou non)  
Pour caractériser un détecteur, c'est-à-dire obtenir les performances de celui-ci, il est requis de pouvoir activer individuellement ou en petits groupes chacune des SPADs. Les taux de comptes de noirceurs; le taux de post impulsion et l'efficacité quantique d'une SPAD individuelle sont mesurables si on peut activer individuellement chaque SPAD. Les taux d'interférences interdétecteurs sont mesurables si on peut activer un groupe de SPAD adjacentes.
- E) Réception et utilisation d'un signal de synchronisation (horloge)  
Il est possible que deux signaux d'horloges soient requis, un de ces signaux servirait à fournir aux cellules un signal de synchronisation pour qu'elles puissent remplir leurs

tâches. Le second signal plus rapide pourrait servir à faire le transfert des informations sortantes des SPADs si une solution synchrone était retenue.

F) Transfert des données

Les signaux définis plus bas représentent les informations utiles transférées par les SPADs.

a. Détecteur actif - non détection

La SPAD était active durant le coup d'horloge précédent et aucun événement de détection ne s'est produit.

b. Détecteur actif - détection

La SPAD était active durant le précédent coup d'horloge et un événement de détection s'est produit.

c. Détecteur inactif

La SPAD était inactive durant le précédent coup d'horloge. La SPAD pouvait ne pas être activée, mais elle pouvait aussi se trouver durant une période d'étouffement.

Ces informations sont requises, car pour estimer le nombre de photons qui sont arrivés durant un coup d'horloge donné, on doit disposer du nombre de détecteurs qui étaient actifs et parmi ceux-ci, combien ont effectivement fait une détection.

Au niveau supérieur du ROIC

A) Collecte d'informations provenant des canaux spectraux

La collecte d'informations provenant des canaux spectraux doit fournir pour chaque intervalle de temps et pour chaque canal spectral le nombre de SPADs qui étaient actifs et le nombre de détection qui ont été faites. Plusieurs méthodes sont envisageables qui peuvent s'appuyer sur de la logique synchrone ou de la logique combinatoire.

B) Traitement primaire de l'information

Le traitement primaire de l'information pourrait consister à faire l'agglomération sur le ROIC avant transfert des résultats de sorties de quelques pulses laser voisins dans le temps pour diminuer la quantité de données à transférer vers le contrôleur extérieur.

C) Transfert des informations vers l'extérieur du détecteur

Le transfert des informations doit pouvoir se faire rapidement. Par exemple, si dans un canal on a 1023 SPADs  $2^{10} - 1 = 1023 = 31 * 3 * 11$ , la sortie pour chaque impulsion laser se fera pour 32 canaux  $N_C = 32$ ; 1000 intervalles en portée par canal  $N_I = 1000$ ; 10 bits  $N_b = 10$  pour le nombre de détections dans chaque intervalles et 10 bits pour la disponibilité des SPADs pour chaque intervalle et ce à la fréquence du laser ( $F = 200\text{Hz}$ ). Ce qui donne : 128Mbits par seconde  $\frac{128\text{Mbit}}{s} = N_C N_I 2 N_b F$ .

Dans l'alternative ou RDDC sélectionnerait la méthode par comptage de photons, croyez-vous être en mesure de fournir des solutions aux problèmes suivants? :

- 1) Fabrication d'une matrice de SPAD dont les caractéristiques satisfont les besoins énoncés au tableau 1
- 2) Vérification si une matrice de microlentilles doit ou non être superposée sur la matrice de SPAD pour en accroître la sensibilité et détermination d'une méthode d'assemblage
- 3) Hybridation de la matrice de SPADs sur un circuit ROIC
- 4) Implantation des composantes analogiques du contrôle des SPAD dans le circuit ROIC
- 5) Implantation de la logique de contrôle des SPADs dans le circuit ROIC
- 6) Implantation dans le circuit ROIC des interfaces de collection de données pour les SPADs
- 7) Implantation dans le circuit ROIC des interfaces de traitement primaire de l'information
- 8) Implantation dans le circuit ROIC des interfaces de communications vers l'extérieur

### 3.0 Besoins de RDDC dans le cadre de cette demande de renseignements (DR)

Les fournisseurs sont invités à répondre aux questions suivantes.

Les réponses aux questions suivantes doivent donner de l'information sur les défis techniques et les problèmes commerciaux et budgétaires importants associés au projet décrit.

Les réponses peuvent être présentées dans une des langues officielles du Canada (anglais ou français).

#### Remarques

- Les fournisseurs qui répondent à la présente demande de renseignements devraient indiquer leurs partenaires potentiels s'ils doivent enrichir l'expertise actuelle de leur entreprise.
- Étant donné que la présente demande de renseignements n'est pas une demande de propositions (DDP) et qu'aucun contrat ne sera attribué suite à cette demande de renseignements, le Canada se réserve le droit de regarder les réponses dès leur réception, c.-à-d. qu'il désire les consulter avant la date de clôture.

Les fournisseurs sont invités à répondre aux questions suivantes de la présente DR

- 1) L'approche par SIPM est-elle réaliste? De quelle manière approcheriez-vous le problème? Quelles sont les alternatives possibles? Quels sont les coûts de conception et de fabrication associés à cette approche? Quels sont les délais auxquels on doit s'attendre avant la production d'une telle solution?
- 2) La matrice de SPADs qui seraient constituée de 32 canaux comprenant chacun près de 1000 SPADs. Au niveau de la matrice les SPADs seraient individuelles. Quelle approche seraient la plus susceptible de fonctionner? Quelles sont les modalités de connexion sur un ROIC de contrôle et lecture? Quels sont les coûts de conception et fabrication d'une



- telle matrice? Quels sont les délais auxquels on doit s'attendre avant la production d'une telle solution?
- 3) Le ROIC tel que présenté dans ce document est-il réaliste? Comment devrions-nous approcher le problème du contrôle des SPADs individuelles? Comment devrions-nous approcher le problème du transfert des données à partir des détecteurs individuels vers le cœur du ROIC? Quelles approches pour le transfert de données à partir du ROIC vers un ordinateur externe sont à privilégier? Quelles seraient les alternatives possibles à intégrer dans ce ROIC? Quels sont les coûts de conception et de fabrication d'un tel ROIC? Quels sont les délais auxquels on doit s'attendre avant la production d'une telle solution?

#### DATE DE FERMETURE ET SOUMISSION DES DOCUMENTS

Les répondants intéressés peuvent présenter leur réponse (préférentiellement par courriel) à Céline Vaillancourt avant la date et l'heure de fermeture de cette demande d'information. Toutes les réponses et les requêtes doivent être adressées à :

Céline Vaillancourt  
Spécialiste en approvisionnement, Centre de recherches de Valcartier  
Recherche et développement pour la défense Canada / Gouvernement du Canada  
2459 Route de la Bravoure  
Batiment 65  
Quebec QC G3J 1X5  
Téléphone : 418-844-4000 ext 4629  
Courriel : [Celine.Vaillancourt@drdc-rddc.gc.ca](mailto:Celine.Vaillancourt@drdc-rddc.gc.ca) ou [Celine.Vaillancourt@Forces.gc.ca](mailto:Celine.Vaillancourt@Forces.gc.ca)

Les réponses peuvent être soumises dans une des deux langues officielles du Canada (Français ou Anglais)