



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada

La mission GardeFeu

WildFireSat



Agence spatiale canadienne GardeFeu

Document sur les exigences de la mission

Ressource naturelles Canada
Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Grands Lacs
Rapport d'information
GLC-X-41F

Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie (Ontario)

Le Centre de foresterie des Grands Lacs (CFGL) est l'un des cinq centres de recherche faisant partie du Service canadien des forêts (SCF), la voix nationale et internationale du secteur forestier du Canada. Un des principaux mandats du SCF consiste à effectuer des recherches scientifiques sur les forêts canadiennes. Ces recherches peuvent servir à orienter la planification de l'aménagement forestier et les décisions stratégiques de même qu'à aider l'industrie forestière, le public et d'autres scientifiques. Les projets de recherche couvrent diverses problématiques liées à la foresterie, notamment les changements climatiques, les incendies de forêt, les ravageurs forestiers et la télédétection. Les résultats de ces travaux de recherche sont diffusés dans des rapports scientifiques et techniques et dans d'autres types de publications.

Des renseignements supplémentaires sur les travaux de recherche et publications de Ressources naturelles Canada, du Service canadien des forêts et du Centre de foresterie des Grands Lacs sont accessibles à la page <https://ressources-naturelles.canada.ca/science-donnees/science-recherche/centre-recherche/centre-foresterie-grands-lacs>.

Pour télécharger cette publication, consultez le [Dépôt ouvert de la science et de la technologie](#).



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada

Agence spatiale canadienne GardeFeu - Document sur les exigences de la mission.

Le document des exigences de mission de « GardeFeu – Mission opérationnelle canadienne » a été rédigé conjointement par l'Agence spatiale canadienne et Ressources naturelles Canada. Ce document définit la portée ainsi que les exigences opérationnelles, techniques et fonctionnelles de la mission satellitaire GardeFeu. Le document des exigences de mission GardeFeu constitue la description de référence de la mission GardeFeu et a été élaboré pour orienter le processus d'approvisionnement et fournir de l'information aux soumissionnaires de la mission GardeFeu. Il sert également de base de référence pour les développeurs du gouvernement du Canada responsables des segments sol et utilisateur de la mission GardeFeu.

Certaines modifications ont été apportées depuis la version initialement publiée dans le cadre de l'appel à propositions en 2023.

Rédigé par :

Joshua Johnston, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada

Denis Dufour, Direction de l'utilisation de l'espace, Agence spatiale canadienne (ASC)

Approuvé par :

Taryn Tomlinson, Direction de l'utilisation de l'espace, ASC

Canada

Les informations de catalogage de cette publication sont disponibles auprès de Bibliothèque et Archives Canada.

Agence spatiale canadienne GardeFeu - Document sur les exigences de la mission. (Rapport d'information, GLC-X-41F).

Publié également en anglais sous le titre : « Canadian Space Agency WildFireSat - Mission Requirements, (Information Report, GLC-X-41) »

Johnston, J.M. and Dufour, D. (rédigé par).

Monographie électronique au format PDF.

Comprend des références bibliographiques.

En ligne :

ISBN 978-0-660-77121-2 ISSN 2562-0746

No de catal. : Fo123-2/41-2025F-PDF

Les informations contenues dans cette publication ou ce produit peuvent être reproduites en partie ou en totalité, et par n'importe quel moyen, à des fins personnelles ou publiques non commerciales, sans frais ni autre autorisation, sauf indication contraire.

Il vous est demandé :

- De faire preuve de diligence raisonnable en vous assurant de l'exactitude des documents reproduits;
- D'indiquer le titre complet du matériel reproduit et le nom de l'organisation qui en est l'auteur;
- D'indiquer que la reproduction est une copie d'un ouvrage officiel publié par Ressources naturelles Canada (RNCAN) et que la reproduction n'a pas été réalisée en affiliation avec RNCAN ou avec son ava.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf autorisation écrite de RNCAN. Pour obtenir de plus amples renseignements, veuillez contacter RNCAN à l'adresse suivante : copyright.droitdauteur@nrcan-rncan.gc.ca.

© Sa Majesté le Roi du Canada, représenté par le ministre des Ressources naturelles du Canada, 2025.



Agence spatiale canadienne

La mission GardeFeu

Document sur les exigences de la mission

Révision C

2024-11-26

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	2
1.1	OBJECTIF DE CE DOCUMENT	2
1.2	Contexte.....	2
1.2.1.	Capacité actuelle et écart	3
1.2.2.	Efforts passés.....	5
1.2.3.	Concept de la mission.....	6
1.3	OBJECTIFS DE LA MISSION	8
1.4	PORTÉE ET GRANDES LIGNES	8
2.	DOCUMENTS	9
2.1	DOCUMENTS APPLICABLES.....	9
2.2	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	10
3.	DÉFINITIONS	11
4.	BESOINS DE SERVICES OPÉRATIONNELS ET COMPROMIS	16
4.1	CLASSIFICATION DES DONNÉES.....	16
4.2	NIVEAUX DE TRAITEMENT DES DONNÉES	18
4.3	PRODUITS DE DONNÉES	19
4.4	JUSTIFICATION DE L'ÉLABORATION DES EXIGENCES	21
4.4.1.	Couverture et coélévation	22
4.4.2.	Bandes MWIR et LWIR	23
4.4.3.	Placement de la bande MWIR	24
4.4.4.	Exigences de sensibilité, de précision et d'exactitude.....	24
4.4.5.	Résolution spatiale	28
4.4.6.	Signatures temporelles MWIR et LWIR	29
4.4.7.	Plages dynamiques des bandes MWIR et LWIR	29
4.4.8.	Bandes VIS/NIR.....	31
4.4.9.	Exigences d'acquisition coïncidente.....	32
4.4.10.	Latence des données	34
4.4.11.	Champ de vision minimal	35

5.	EXIGENCES DE LA MISSION	37
5.1	EXIGENCES FONCTIONNELLES ET EXIGENCES DE PERFORMANCES	37
5.1.1.	Couverture.....	37
5.1.2.	Instrument.....	40
5.1.3.	Pointage.....	54
5.1.4.	Qualité d'image	55
5.2	EXIGENCES OPÉRATIONNELLES	60
5.2.1.	Traitement des produits de données	60
5.2.2.	Durée de la mission, disponibilité et fiabilité.....	62
5.2.3.	Opérations et interfaces au sol	64
5.2.4.	Campagne de validation pré-lancement.....	69
5.3	Contraintes.....	70
6.	ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS.....	72

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1-1. HEURES DE SURVOL DES FEUX ACTIFS PAR LES SATELLITES.	5
FIGURE 1-2. CONCEPT DE LA MISSION.	6
FIGURE 3-1. ZONE D'INTÉRÊT GARDEFEU.	11
FIGURE 3-2. COORDONNÉES DU POINT SOUS-SATELLITE GÉODÉSIQUE.	13
FIGURE 4-1. CLASSIFICATION DES PRODUITS DE DONNÉES GARDEFEU.	18
FIGURE 4-2. TRANSMISSION EFFECTIVE PAR RAPPORT À L'ANGLE DE COÉLÉVATION D'UN ÉLÉMENT AU SOL SOUS-PIXEL VU PAR UNE CAMÉRA DE VISUALISATION AU NADIR EN ORBITE BASSE TERRESTRE, Y COMPRIS LES EFFETS DE L'ÉCLAIRAGE DE LA CAMÉRA, DE LA TRANSMISSION ATMOSPHÉRIQUE ET DE L'ÉCHANTILLONNAGE AU SOL.	23
FIGURE 4-3. RELATION ENTRE L'AIRE D'UN FEU SOUS-PIXEL DE 800 K SUR UN FOND DE 300 K ET LA RADIANCE SPECTRALE ÉQUIVALENTE AU BRUIT (NESR).	25
FIGURE 4-4. LUMINANCE MAXIMALE AU NIVEAU DE LA SURFACE.	30
FIGURE 4-5. TEMPÉRATURES DE LUMINANCE SIMULÉES DE LA COUCHE SUPÉRIEURE DE L'ATMOSPHÈRE (CSA).	31
FIGURE 4-6. EFFET DU DÉALIGNEMENT D'UNE SOURCE PONCTUELLE SUR L'ÉNERGIE ENCADRÉE CAPTURÉE PAR UN PIXEL.	33
FIGURE 5-1. LIMITES DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE MWIR.	42
FIGURE 5-2. LIMITES DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE LWIR.	45
FIGURE 5-3. LIMITES DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE VIS (ROUGE).	46
FIGURE 5-4. LIMITES DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE NIR.	47
FIGURE 5-5. LIMITES DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE VIS (BLEUE).	48
FIGURE 5-6. LIMITES DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE VIS (VERTE).	49
FIGURE 5-7. SCÉNARIO DE FRONT DE FEU INTENSE.	51

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 4- 1. CLASSEMENT DES TYPES DE DONNÉES.....	17
TABEAU 4- 2NIVEAUX DE TRAITEMENT DES DONNÉES	18
TABEAU 4-3EXACTITUDE DES PRODUITS DE DONNÉES SÉLECTIONNÉS PERTINENTE POUR LE DEM	21
TABEAU 5-1. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE MWIR	41
TABEAU 5-2. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE LWIR..	43
TABEAU 5-3. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE VIS (ROUGE).....	46
TABEAU 5-4. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE NIR....	47
TABEAU 5-5. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE VIS (BLEUE)	48
TABEAU 5-6. VIS (GREEN) RELATIVE SPECTRAL RESPONSE REQUIREMENTS	49

1. INTRODUCTION

1.1 OBJECTIF DE CE DOCUMENT

Le document sur les exigences de la mission (DEM) est un document de haut niveau décrivant les objectifs et exigences de mission de WildFireSat/GardeFeu (WFS)¹.

1.2 CONTEXTE

La surveillance des incendies de forêt est actuellement assurée par un réseau de satellites publics. Il s'agit principalement de satellites météorologiques, qui assurent également des observations quasi constantes de feux de forêt actifs. Toutefois, dans les régions de latitude plus élevée comme le Canada, les satellites météorologiques ne sont pas en mesure de détecter la plupart des feux de forêt, ce qui oblige le Canada à s'appuyer sur des satellites scientifiques beaucoup moins efficaces pour ce type d'activités. De plus, le Canada ne peut exploiter aucun satellite public ou commercial pour répondre aux besoins spécifiques en matière de gestion active des incendies au Canada, en particulier pendant la période critique de la fin de l'après-midi, lorsque les incendies sont les plus intenses.

Cette situation empêche les partenaires de lutte contre les incendies sur le terrain et les organisations de gestion des urgences d'accéder aux informations sur les feux de forêt et la fumée qu'ils dégagent, informations dont ils ont besoin pour prendre les décisions d'intervention et d'évacuation les plus efficaces et les plus opportunes. Les récentes saisons des incendies catastrophiques (en Colombie-Britannique en 2017, 2018 et 2021 et en Australie en 2019-2020) démontrent à nouveau que le fait de disposer d'informations opérationnelles limitées a de graves répercussions. À l'avenir, les feux de forêt constitueront une menace permanente importante pour la sûreté et la sécurité des Canadiens et de l'économie. La menace de feux de forêt en raison des changements climatiques augmente, l'urgence de la réponse aux besoins en matière de surveillance des feux de forêt au Canada se faisant de plus en plus sentir.

Ressources naturelles Canada (RNCan), Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC), les organisations provinciales/territoriales canadiennes de gestion des incendies et les universités, tant au Canada qu'à l'étranger, ont donc exprimé le besoin de mettre en place un service opérationnel de surveillance des feux de forêt.

Un futur service opérationnel de surveillance des feux de forêt proposant une couverture en quasi temps réel (c'est-à-dire environ 30 minutes) de la masse terrestre canadienne ou mondiale et de visites fréquentes, nécessitera de pouvoir accéder à des capteurs spatiaux dédiés. Pour rendre une telle solution abordable, ces capteurs doivent utiliser une technologie leur permettant d'être hébergés et exploités avec les ressources limitées de la plateforme d'accueil.

¹ Ci-après, le terme GardeFeu (WFS) est utilisé pour faciliter la lecture du document. WildFireSat est utilisé dans la version en anglais pour désigner le même système.

L'une de ces technologies habilitantes est une nouvelle technologie de détection d'incendie développée au Canada, s'appuyant sur la technologie microbolométrique permettant de procéder à des mesures thermiques sans refroidissement. Cela réduit considérablement les ressources nécessaires (masse, volume, puissance) pour accueillir l'instrument sur une plateforme spatiale, ce qui offre donc la possibilité d'une utilisation en constellation, contrairement aux instruments thermiques installés sur les grands satellites météorologiques actuels.

La mission GardeFeu produira un système entièrement opérationnel de surveillance des feux de forêt qui permettra de détecter et de surveiller les feux de forêt par satellite. GardeFeu est un système d'information exhaustif permettant d'observer les feux de forêt pendant la période de brûlage maximal (en fin d'après-midi) et tôt le matin, et qui donne une analyse détaillée des incendies aussi rapidement que possible directement aux partenaires opérationnels qui prennent les décisions sur le front des incendies. Les principaux extrants et résultats de la mission sont les suivants :

1. Les gestionnaires canadiens des incendies de forêt (c'est-à-dire les organismes provinciaux et territoriaux, Parcs Canada) recevront des produits de gestion des incendies concernant tous les incendies de forêt actifs, tous les jours et en quasi temps réel;
2. La qualité de l'air, la fumée et les émissions de carbone liées aux incendies de forêt seront mieux prévues et surveillées et;
3. Les risques et pertes économiques pour la société, liés à la menace des incendies de forêt, seront réduits de manière significative.

GardeFeu permettra de procéder à des évacuations plus sûres et mieux informées, compte tenu de leur fréquence de plus en plus importante.

1.2.1. Capacité actuelle et écart

Les pratiques de détection des incendies de forêt au Canada varient considérablement d'une juridiction à l'autre et d'une zone d'intervention à l'autre. Les méthodes terrestres et aériennes de détection des incendies les plus fréquemment utilisées sont les patrouilles par aéronefs à voilure fixe, les tours de guet (y compris les systèmes de tour automatisés), les patrouilles du personnel sur le terrain et les rapports publics. Là où les incendies de forêt sont activement supprimés (en général dans la Zone A, telle que définie dans D-1, par exemple), ces méthodes de détection sont efficaces pour localiser les incendies qui viennent de se déclencher et qui dépassent souvent la capacité de détection des incendies de forêt à partir des produits de détection OT existants (Johnston et al. 2018²). Dans cet esprit, des améliorations significatives sont possibles en matière de surveillance des incendies.

² Johnston JM, Johnston LM, Wooster MJ, Brookes A, McFayden C, Cantin AS, Satellite Detection Limitations of Sub-Canopy Smouldering Wildfires in the North American Boreal Forest, Fire, 2018;1: 28.

L'infrastructure de surveillance des incendies actuellement en place (comprenant les moyens terrestres, aériens et spatiaux) ne fournit pas le niveau de données requis pour améliorer la gestion des incendies de forêt, ni la prévision de la fumée et de la qualité de l'air. Les vols de reconnaissance aérienne sont coûteux, couvrent des zones limitées, nécessitent l'utilisation de personnel expérimenté (mieux adapté aux opérations d'intervention directe), mais doivent pourtant être effectués régulièrement pour les feux de grande importance, quels que soient leurs objectifs d'intervention. De plus, les aéronefs sont souvent en nombre insuffisant en cas d'incendie intensifié et peuvent ne pas être en mesure de voler en raison de problèmes de visibilité induits par la fumée. Même dans des conditions idéales, il n'est pas possible de survoler quotidiennement tous les incendies au Canada. Les problèmes de coût, de logistique et de disponibilité liés à ces opérations sont les arguments majeurs justifiant de rechercher des solutions alternatives en matière de surveillance des incendies.

La surveillance des incendies par observation de la Terre est une alternative naturelle à la reconnaissance aérienne. Toutefois, les satellites d'OT qui sont actuellement utilisés pour surveiller les incendies de forêt n'ont pas été principalement conçus à cet effet. Plus particulièrement, les satellites géostationnaires détectent les incendies de manière active et donnent des estimations de la puissance radiative du feu (PRF). Malheureusement, la résolution spatiale et les interférences atmosphériques dégradent rapidement la qualité des données géostationnaires à mesure que la latitude augmente, réduisant ainsi à néant cette option pour le Canada. Les données en orbite polaire se sont avérées utiles pour reconstituer de manière chirurgicale les incendies passés, mais la latence des données et les temps de survol ne sont pas tout à fait adaptés à la gestion opérationnelle des incendies (MNP, 2017³). Par exemple, la majorité des données sur les feux actifs actuellement disponibles à partir de satellites en orbite polaire provient de systèmes conçus pour des applications à usage général, avec des heures de survol prévues pour s'adapter à un large éventail d'utilisateurs (en général à 10 h 00 ou 13 h 00, temps solaire local) et des résolutions spatiales en général beaucoup moins précises que la résolution idéale de 400 m ou mieux requise pour mesurer précisément la puissance radiative du feu.

Surtout, bien que ces satellites soient utiles pour documenter l'activité des incendies de forêt au début de la période optimale de brûlage quotidienne, ils ne parviennent pas à capturer l'activité en fin d'après-midi, lorsque les incendies de forêt sont à leur intensité maximale (Figure 1-1). Ces écarts temporels sur l'ensemble de la couverture posent de vrais problèmes, car d'importantes périodes d'activité intense des incendies ne sont pas observées, laissant des périodes de 10 heures pendant lesquelles les incendies se développent non documentées, les utilisateurs opérationnels étant alors confrontés à un manque substantiel de connaissance de la situation.

³ A review of the 2016 Horse River Wildfire: Alberta Agriculture and Forestry Preparedness and Response. In. A review of the 2016 Horse River Wildfire: Alberta Agriculture and Forestry Preparedness and Response. Edmonton, Alta., MNP LLP, 2017.

Afin de répondre aux besoins en matière de gestion opérationnelle des incendies, GardeFeu observera ces feux actifs dans ces intervalles de temps. La résolution spatiale de ces données sera appropriée, et les données seront livrées en quasi temps réel aux utilisateurs finaux. Ce faisant, GardeFeu comblera les lacunes de l'après-midi et du petit matin et fournira une source fiable de données de reconnaissance à utiliser dans le cadre des opérations de planification stratégique, réduisant ainsi la dépendance aux levés aéroportés.

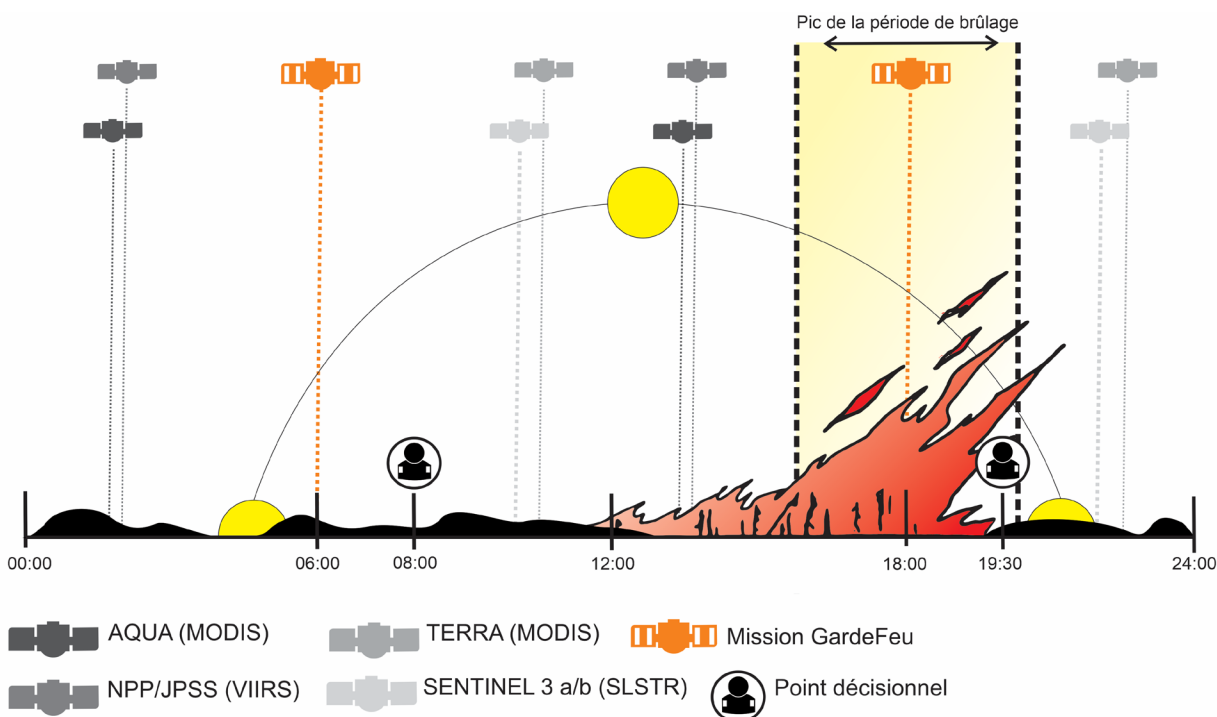


Figure 1-1. Heures de survol des feux actifs par les satellites.

1.2.2. Efforts passés

La nécessité d'améliorer la surveillance des feux de forêt depuis l'espace est étudiée depuis 2006, et des démonstrations liées aux instruments technologiques connexes ont été effectuées dans l'espace en 2011⁴. En 2013, il a été proposé de faire du Canadian Wildland Fire Monitoring System (CWFMS) l'une des cinq missions microsatellites à faire l'objet d'une étude de phase 0 (faisabilité), qui a été menée avec succès de 2014 à 2016. Plusieurs activités du Programme de développement de la technologie spatiale (PDTs) ont été menées parallèlement pour accroître la maturité des instruments technologiques permettant de réaliser la mission.

En mars 2019, le projet GardeFeu a été approuvé par l'Agence spatiale canadienne (ASC). La phase A du projet a permis d'avoir un éclairage supplémentaire sur la définition du concept et les travaux d'avancement NMT réalisés dans le cadre de deux contrats parallèles avec l'industrie. Après la phase A, une demande d'information et des appels de lettres d'intérêt ont

⁴ Une démonstration de l'instrument NIRST (New InfraRed Sensor Technology - nouvelle technologie de capteurs infrarouges) a été effectuée et a offert des résultats partiels dans le cadre de la mission Aquarius SAC-D en partenariat international (2011-2015).

été publiés par l'ASC en décembre 2021 pour avoir un retour de l'industrie sur une mission à portée réduite et satellite unique appelée Pathfinder.

En avril 2022, avant le début des activités d'approvisionnement pour une mission Pathfinder, le gouvernement du Canada a annoncé des investissements importants visant à élargir la portée de la mission. Il s'agit de mettre en place une mission opérationnelle prévoyant des survols quotidiens des zones de propagation maximale des incendies du Canada, associés à des observations réalisées tôt le matin. De plus, cette enveloppe budgétaire prévoit le soutien au segment sol et le traitement des produits de données en aval, l'échange de connaissances des utilisateurs finaux et l'intégration dans les systèmes de surveillance de la fumée. Cette version du DEM reflète les exigences relatives à la nouvelle portée de la mission.

Le changement de portée ci-dessus a conduit à affiner l'ensemble des exigences de mission dans le présent document. Noter que le document portant sur les requis scientifiques et les besoins des utilisateurs (DEU) n'a pas été conservé après le passage à la Phase A. Par conséquent, plusieurs des exigences de la mission proviennent de RD-02.

1.2.3. Concept de la mission

Le système GardeFeu sera composé d'un segment spatial, d'un segment sol et d'un segment utilisateurs (voir la Figure 1-2).

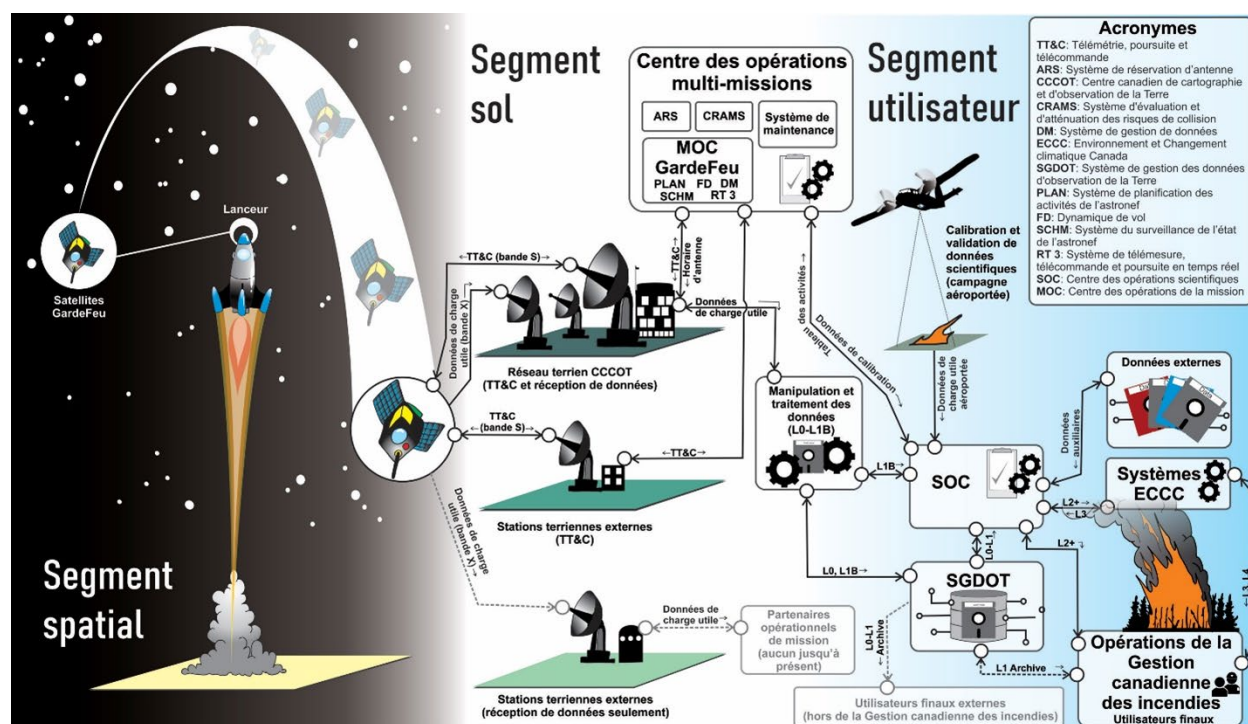


Figure 1-2. Concept de la mission.

Le segment spatial sera composé de plusieurs engins spatiaux en orbite basse terrestre (LEO), chacun transportant une charge utile multibande pour fournir des mesures d'observation de la Terre dans une plage de bandes infrarouges (IR) et de bandes visibles. Ces bandes ont été spécifiées par les utilisateurs pour fournir les données nécessaires à la caractérisation de la

puissance radiative du feu et des points chauds, à la cartographie des surfaces brûlées et à la détermination de la vitesse de propagation du feu.

Le segment sol comprendra les capacités de poursuite, de télémessure et de contrôle des engins spatiaux (TT&C), les capacités de planification opérationnelle et d'attribution des missions des engins spatiaux, la gestion des données et le traitement des données jusqu'au Niveau 1-b.

Les concepts préliminaires de la mission comprenaient des satellites à pointage nadiral qui recueillent des données dans une configuration en peigne relevant toutes les possibilités d'accès au-dessus de la zone d'intérêt canadienne pendant la saison active des incendies⁵. Dans ces concepts, la transmission des données en liaison descendante fonctionne en mode transposition de fréquence pour répondre aux exigences de latence, à l'aide d'un segment sol s'appuyant sur le réseau de stations au sol du Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre (CCCOT) (stations de Gatineau, Inuvik et Prince Albert). L'engin spatial serait exploité à partir du Centre d'opérations multimitations (COMM) situé à l'ASC à Saint-Hubert.

Les données transmises en liaison descendante seront traitées au Niveau 1b et transférées au segment utilisateurs pour stockage, traitement et diffusion. Le Système de gestion des données d'observation de la Terre (SGDOT), situé au CCCOT, hébergera à long terme les données transmises en liaison descendante et de Niveau 1b. Le Centre des opérations scientifiques (COS), situé à RNCAN, stockera temporairement les données de Niveau 1b et gèrera les données auxiliaires pour soutenir le traitement en quasi temps réel des produits de Niveau 2+ au niveau du centre. Les produits de données de Niveau 2+ seront stockés dans le cadre du COS, et diffusés aux utilisateurs finaux (Environnement et Changement climatique Canada [ECCC], par exemple) en plusieurs formats accessibles par le biais des services du COS. Le SGDOT peut également archiver à long terme des produits de données de Niveau 2+.

Le segment utilisateurs comprendra les ressources appropriées nécessaires au traitement des données fournies par le segment sol au niveau requis par les utilisateurs finaux, ainsi que l'archivage et la distribution des données de mission, le cas échéant. Le segment utilisateurs planifiera également les activités utiles selon les directives opérationnelles et scientifiques de la mission.

⁵ Pour les besoins de son projet, la saison active des incendies au Canada est définie comme étant la période comprise entre le 1er mars et le 31 octobre.

1.3 OBJECTIFS DE LA MISSION

GardeFeu a pour mission :

- d'assurer un service opérationnel de surveillance des feux de forêt aux utilisateurs finaux, pour donner :
 - o de l'information en quasi temps réel destinée à soutenir la gestion des feux de forêt et la recherche à cet égard;
 - o des prévisions sur la fumée et la qualité de l'air, et des estimations des émissions, venant à l'appui des exigences internationales en matière de déclaration des émissions de carbone.
- de surveiller quotidiennement les feux de forêt au Canada, avec des survols en fin d'après-midi, en l'absence de toute source actuelle de données de surveillance des feux par satellite et lorsque l'activité des feux de forêt est en principe maximale;
- de fournir aux utilisateurs finaux des produits de feu fiables avec la précision requise dans les 30 minutes qui suivent l'acquisition de données;
- d'intégrer les données GardeFeu dans les outils existants et nouveaux de gestion des feux de forêt, dans les rapports sur le carbone et dans les rapports sur la fumée et la qualité de l'air.

1.4 PORTÉE ET GRANDES LIGNES

La portée du Document sur les exigences de la mission englobe la mission de bout en bout, de l'acquisition de données sur les feux de forêt à la livraison de produits de données scientifiques aux utilisateurs finaux. Toutefois, les exigences portent essentiellement sur les données du segment spatial et du segment sol devant être livrées par l'entrepreneur principal de l'ASC, ainsi que sur les interfaces avec les composants et services du segment utilisateurs et du segment sol proposés par le gouvernement du Canada. Le Concept des opérations (RD-06) peut permettre au lecteur de mieux comprendre le flux global de données et le rôle que jouent toutes les interfaces avec les services et les composants fournis par le gouvernement du Canada dans la mission globale de GardeFeu.

Le document est organisé de la manière suivante :

Section 2 : identifie les documents applicables et les documents de référence.

Section 3 : donne des définitions pertinentes pour le document.

Section 4 : présente les produits de la mission, ainsi que les compromis entre les différents aspects de la mission.

Section 5 : présente les exigences liées à la mission de GardeFeu.

Section 6 : définit les acronymes et abréviations utilisés dans le document.

2. DOCUMENTS

Dans le cadre de ce projet, le Document sur les exigences de la mission est à la source de toutes les exigences liées à GardeFeu. Les utilisateurs sont les coauteurs des exigences de la mission, en prenant en compte leurs besoins et les résultats de la Phase 0 et de la Phase A. Les versions précédentes de ce projet incluaient un Document des exigences de l'utilisateur, lequel est désormais considéré comme obsolète. Cela concerne également les spécifications décrites dans RD-02, incluses à titre de référence contextuelle uniquement. En tant que telles, les exigences de l'utilisateur sont capturées dans le cadre des exigences de la mission décrites ici.

2.1 DOCUMENTS APPLICABLES

La liste suivante indique les documents qui sont applicables, avec la date exacte de publication ainsi que le numéro de version; ces documents font partie intégrante du présent document dans les limites qui y sont prescrites.

DA	Numéro du document	Révision	Titre
AD-01	Règlement des radiocommunications (uit.int)	2020	Règlement des radiocommunications de l'UIT
AD-02	Projet de loi C-25 du gouvernement du Canada		Loi sur les systèmes de télédétection spatiale
AD-03	Guide Probability Failure 1102 05.pdf (faa.gov) [seulement anglais]	1.0	Guide to Probability of Failure Analysis for New Expendable Launch Vehicles
AD-04	https://www.nasa.gov/sites/default/files/189893main_ER-2_handbook_02.pdf [seulement anglais]	Août 2002	NASA ER-2 Airborne Laboratory Experimenter Handbook

2.2 DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents suivants donnent de l'information complémentaire ou des principes directeurs visant à clarifier le présent document ou à en expliquer l'historique.

DR	Numéro du document	Révision	Titre
RD-01	CEOS/WGISS/DSIG/GLOS*	1.3	Long Term Preservation of Earth Observation Space Data Glossary of Acronyms and Terms
RD-02	https://www.mdpi.com/1424-8220/20/18/5081 *	Publié 2020-09-07	Development of the User Requirements for the Canadian WildFireSat Satellite Mission
RD-03	Llis (nasa.gov)*	1994-12-01	NASA Lesson: Availability Prediction and Analysis
RD-04	https://www.tbs-sct.canada.ca/pol/doc-fra.aspx?id=28108	Février 2020	Feuille de route pour la science ouverte
RD-05	https://www.tbs-sct.canada.ca/pol/doc-eng.aspx?id=28108	2014-10-09	Directive sur le gouvernement ouvert
RD-06	CSA-WFS-CO-0001	Rév. A	Mission opérationnelle canadienne WildFiresat/GardeFeu (WFS-COM) : Concept des opérations
RD-07	DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00192-4 *	2001	Application of the Dozier retrieval to wildfire characterization: a sensitivity analysis. Remote Sensing of Environment 77, 34-49
RD-08	https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.06.010 *	2014	A global feasibility assessment of the bi-spectral fire temperature and area retrieval using MODIS data. Remote Sensing of Environment 152, 166-173
RD-09	https://doi.org/10.1016/0034-4257(81)90021-3 *	1981	A Method for Satellite Identification of Surface Temperature Fields of Subpixel Resolution. Remote Sensing of Environment 11, 221-229
RD-10	http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-6639-6_18 *	2011	Remote Sensing of Open Biomass Burning and Wildfire Regimes. King's College London

*[seulement anglais]

3. DÉFINITIONS

D-1. Zone d'intérêt canadienne

La zone d'intérêt (ZI) canadienne est définie dans la Figure 3-1.

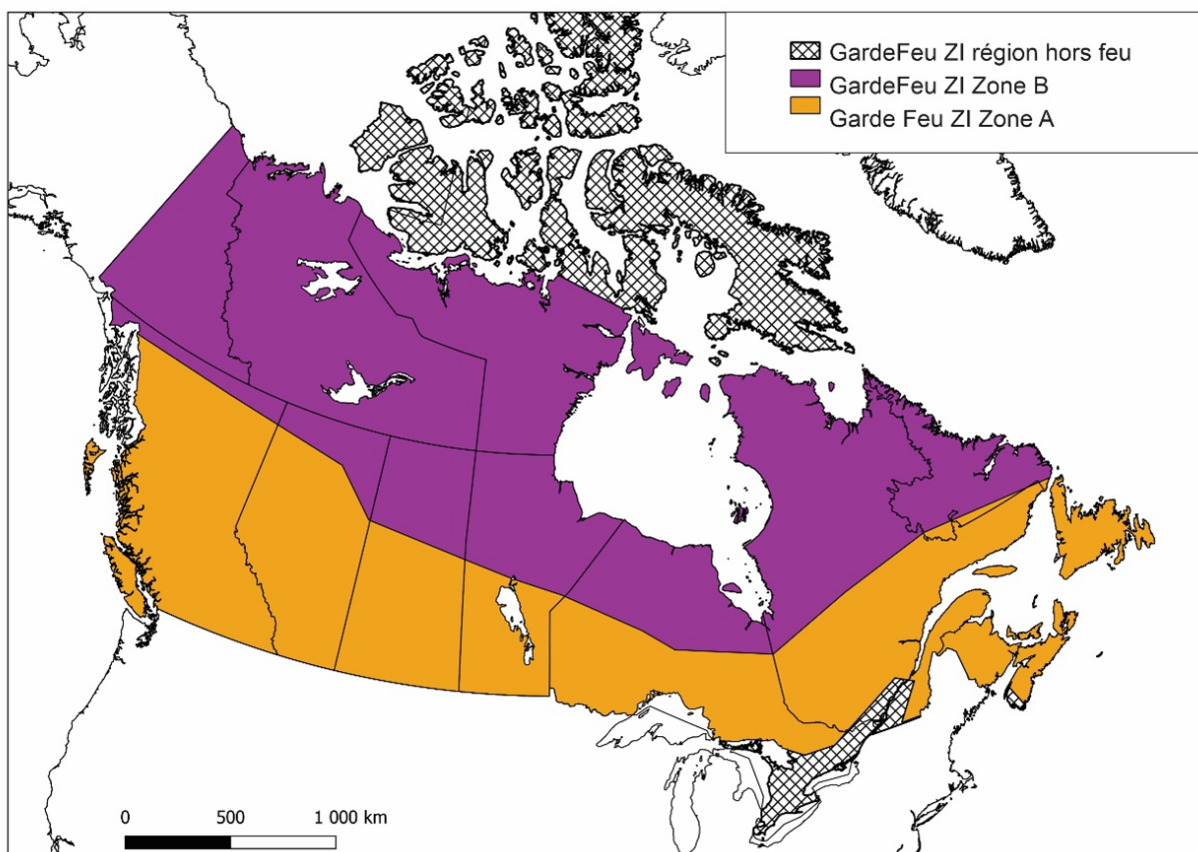


Figure 3-1. Zone d'intérêt GardeFeu.

La Figure 3 1 représente une carte de la zone d'intérêt canadienne en ce qui concerne (de manière générale) les opérations de gestion des feux de forêt au Canada. La région en violet est appelée ici Zone B, celle en orange étant la Zone A. Toutes les autres régions du Canada sont dites Hors feu et ne sont pas considérées comme faisant partie de la zone d'intérêt canadienne. La Zone B représente les zones où les feux ne sont pas éteints, mais font plutôt l'objet d'une surveillance. Les régions de la Zone A sont plus densément peuplées et les feux sont donc généralement éteints. Toutes les autres régions du pays, en particulier le couloir Windsor-Québec et le littoral, ne connaissent généralement pas de feux de forêt importants, compte tenu de l'urbanisation ou du manque de combustibles forestiers. Dans cet esprit, la gestion opérationnelle des incendies est régie par un large éventail de priorités, de politiques et d'accords régionaux de nature dynamique. Dans les zones décrites ci-dessus, les circonstances peuvent dicter un certain nombre de réponses adaptées à la situation en matière d'incendies de forêt, le zonage proposé ici visant purement à aider à la planification de mission de haut niveau. Les besoins des utilisateurs entre la zone en violet et la zone en orange se distinguent de la manière suivante. Dans la Zone A orange, les organisations de gestion des feux de forêt tenteront d'intervenir sur un feu dans les plus brefs délais. A cet effet, ces organisations auront

besoin le plus rapidement possible d'informations sur les feux qui viennent de se déclarer et sur leur évolution. Une fréquence de visite élevée (c'est-à-dire la fréquence de visite requise pour une mission opérationnelle) est donc nécessaire dans cette zone, les données faisant également l'objet d'une faible latence. Dans la Zone B (en violet), une simple surveillance des incendies est nécessaire et aucune intervention ne sera nécessaire en cas de feu de forêt dans cette zone.

Remarque : Les fichiers de forme (.shp) de ces zones de couverture accompagnent le présent document.

D-2. Période optimale de brûlage

La période optimale de brûlage est la partie de chaque période de 24 heures pendant laquelle les incendies sont en général les plus actifs. Cette période s'étend généralement du milieu de matinée au coucher du soleil, bien que cela varie en fonction de la latitude et de la période de l'année. Pour les besoins de la planification de mission, la définition plus large est acceptée : « de 9 h 00 à 22 h 00, heure solaire locale ».

D-3. Période de brûlage maximal

La période de brûlage maximal est la partie d'une période optimale de brûlage au cours de laquelle l'activité du feu atteint généralement un maximum en raison des conditions diurnes. Pour les besoins de la planification de la mission, la période de brûlage maximal est définie : « d'environ 16 h 00 à 20 h 00, heure solaire locale ».

D-4. Angle de coélévation

L'angle de coélévation est défini comme étant l'angle entre la normale locale du centre d'un pixel déterminé à partir du point sous-satellite géodésique de référence, comme indiqué dans la Figure 3-2 (à l'exclusion des caractéristiques topographiques locales) et la ligne de visée vers l'engin spatial.

D-5. Point sous-satellite

Sauf indication contraire, le point sous-satellite fait référence au point sous-satellite géodésique (par opposition au point sous-satellite géocentrique). Les points sous-satellites géodésiques et géocentriques, qui sont différents compte tenu du fait que la Terre n'est pas une sphère parfaite, sont illustrés dans la Figure 3-2. Le point géocentrique est le point où un vecteur entre le satellite et le centre de la Terre traverse la surface du géoïde terrestre de référence. Le point sous-satellite géodésique est le point du géoïde terrestre de référence où un vecteur normal à sa surface pointe vers le satellite.

D-6. Résolution thermique de mesure (NETD)

La résolution thermique de mesure (NETD) est la variation de la température d'une cible à l'entrée du système optique qui cause une variation de signal équivalente au bruit efficace temporel du capteur. La résolution thermique de mesure (NETD) est définie pour une température de cible spécifique (généralement 300 K, sauf indication contraire) et pendant une période de temps (généralement 1 seconde, sauf indication contraire) pour laquelle le RMS du bruit temporel est mesurée.

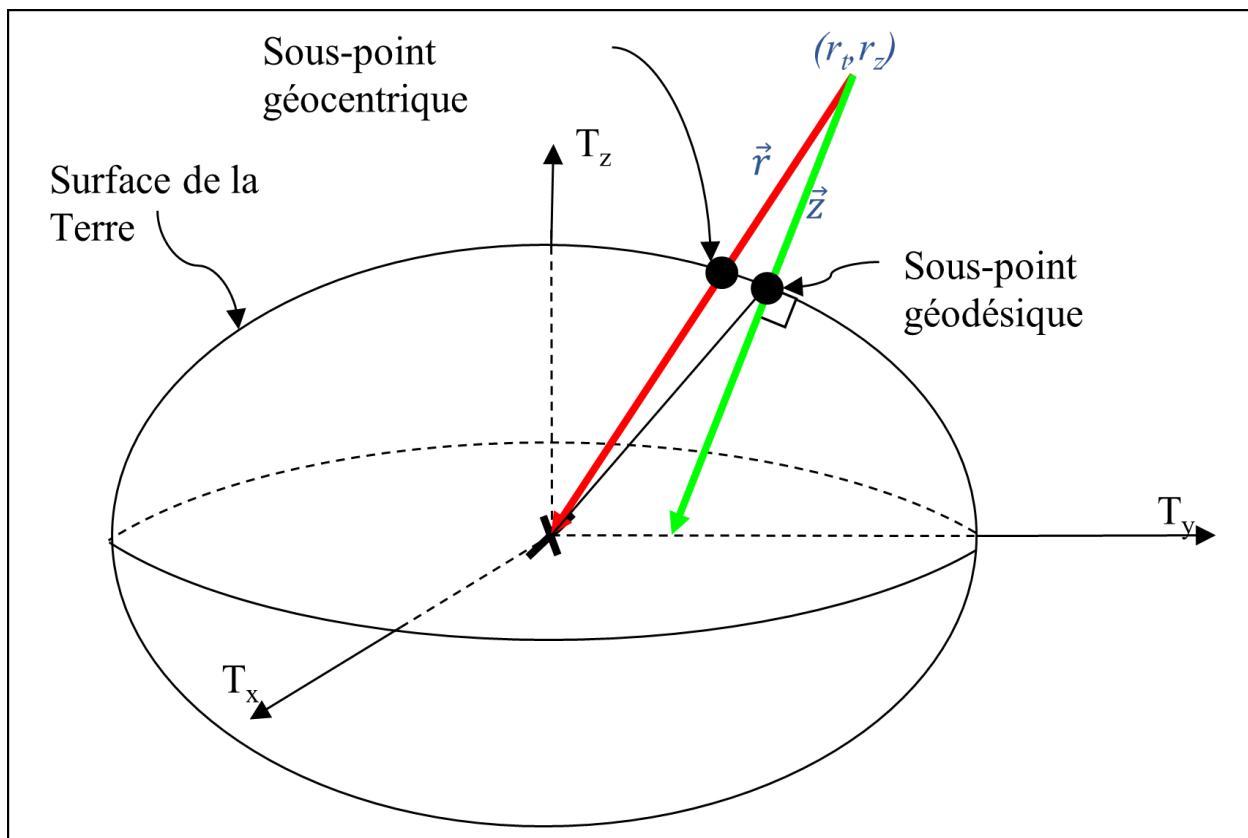


Figure 3-2. Coordonnées du point sous-satellite géodésique.

D-7. Puissance équivalente de bruit (PEB)

La puissance équivalente de bruit (PEB) est la variation de puissance de rayonnement directement incidente sur un pixel du capteur, qui produit un signal équivalent au RMS du signal de bruit temporel du pixel du capteur sur une période donnée.

D-8. Radiance spectrale équivalente au bruit (NESR)

La radiance spectrale équivalente au bruit (NESR) est la variation de l'entrée de luminance énergétique de la scène dans un système optique qui produit une variation de signal égal au RMS du signal de bruit temporel sur une période donnée. La radiance spectrale équivalente au bruit est exprimée en unités de radiance spectrale ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$).

D-9. Rapport signal sur bruit (SNR)

Le rapport signal sur bruit (SNR) est le rapport de la puissance du signal sur la puissance du bruit à la sortie d'un seul pixel de capteur.

D-10. Segment spatial

Le segment de vol comprend tout ce qui se trouve à bord de l'engin spatial et du lanceur. Cela peut également inclure le transfert de données entre satellites, bien qu'il ne soit pas établi pour GardeFeu.

D-11. Segment sol

Le segment sol comprend les stations au sol pour la télémesure, le suivi et la commande, ainsi que la réception des données, tous les équipements de planification des activités de l'engin spatial, de surveillance, de contrôle et de surveillance de l'engin spatial, et le traitement au sol nécessaire pour fournir des données de Niveau 1b et des données auxiliaires au segment utilisateurs.

D-12. Segment utilisateurs

Il s'agit du traitement au sol des données au format fourni par le segment sol (Niveau 1b et données auxiliaires) jusqu'au(x) niveau(x) requis par les utilisateurs finaux. Le segment utilisateurs comprend également la planification des activités relatives aux charges utiles, ainsi que l'archivage et la distribution des données.

D-13. Utilisateurs finaux

Utilisateurs canadiens des produits de données établis par le COS pour prendre des décisions opérationnelles. Il s'agit, la liste n'étant pas exhaustive, des gestionnaires d'incendie provinciaux et territoriaux et du personnel opérationnel utilisant des produits de données pour prendre connaissance d'une situation, prévoir la fumée et la qualité de l'air et établir des rapports sur les émissions de carbone.

D-14. Utilisateurs finaux externes

Utilisateurs internationaux des produits de données établis par le COS et utilisateurs canadiens de produits des données établis par le COS qui ne sont pas utilisés pour la gestion des incendies ou pour les besoins opérationnels.

D-15. Utilisateurs finaux partenaires

Partenaires de la mission qui développent des produits de données à valeur ajoutée fournis par le segment utilisateurs et qui utilisent les données pour faire des recherches (Ressources naturelles Canada - Service canadien des forêts (RNCAN-SCF), Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), par exemple).

D-16. Partenaires de la mission

L'ASC, RNCAN-SCF, RNCAN-CCCOT et ECCC sont des partenaires qui participent directement à l'élaboration et à l'exécution de la mission.

D-17. Produits de données

Les produits de données sont classés en Palier 1, Palier 2 et Palier 3. Les produits de données GardeFeu sont décrits dans la section 4.1.

D-18. Puissance radiative du feu (PRF)

La PRF est le taux de chaleur rayonnante produite lors des incendies. La PRF est une mesure instantanée, généralement calculée à partir de la mesure thermique infrarouge de la puissance rayonnante des feux, et est exprimée en mégawatts (MW).

D-19. Énergie Encadrée (EE)

L'énergie encadrée est la fraction de l'énergie totale dans la fonction d'étalement du point (FEP) d'une source ponctuelle, parfaitement coalignée avec un pixel carré, qui est captée par celui-là.

D-20. Fonction d'étalement du point (FEP)

La fonction d'étalement du point d'un système optique est la distribution d'intensité normalisée d'une source ponctuelle. Il s'agit d'une mesure utilisée pour reconstruire la fonction de transfert de modulation (FTM) du système optique. La FEP est la réponse en impulsion du système optique, qui mesure dans quelle mesure les points d'un objet sont flous dans l'image.

D-21. Fonction de transfert de modulation (FTM)

La FTM est une mesure de la capacité du système optique à rendre le contraste d'un objet à l'image selon une résolution particulière.

D-22. Intégration temporisée (TDI)

Mode de lecture du capteur spécialisé permettant d'observer des scènes non stationnaires afin d'améliorer le rapport signal sur bruit. Pour ce faire, la moyenne du signal de luminance énergétique d'une cible est calculée à différents moments et à différents emplacements de pixels lorsque la cible se déplace dans le plan d'imagerie. Dans le contexte de GardeFeu, l'expression « Intégration temporisée » a un sens plus vaste que sa définition habituelle dans le contexte des capteurs photoélectriques à couplage de charge (DCC), qui consiste au déplacement des photoélectrons pour compenser le mouvement des objets. En effet, dans le contexte des capteurs thermiques comme les microbolomètres, la TDI correspond à la co-addition post-acquisition des pixels d'une image de plusieurs trames d'image prises du même objet au sol.

D-23. Champ de vision (FOV)

Étendue sur laquelle une scène donnée est prise. La forme du champ de vision correspond à celle du réseau de capteurs et non à la forme de l'ouverture.

D-24. Champ de vision instantanée (IFOV)

Angle couvert par un seul pixel de capteur sur l'axe optique.

D-25. Champ de visée instantané au sol (GIFOV)

Distance au sol instantanée couverte par un seul pixel de capteur, mesurée en unités de longueur.

D-26. Trajectoire au sol

La trajectoire au sol est la trajectoire sur la surface planétaire directement sous la trajectoire du satellite GardeFeu. La direction longitudinale est définie comme étant une projection vectorielle du champ de vision du satellite sur la surface planétaire parallèle à la trajectoire du satellite, la direction transversale étant définie comme étant une projection vectorielle du champ de vision sur la surface planétaire perpendiculaire à la trajectoire du satellite.

D-27. Résolution Spatiale

Dans ce document, « résolution spatiale » est un terme générique indicatif de la taille du plus petit objet qui peut être résolu par un capteur matriciel.

4. BESOINS DE SERVICES OPÉRATIONNELS ET COMPROMIS

Le segment spatial GardeFeu fait partie intégrante du nouveau système de satellites de surveillance des feux de forêt annoncé dans le budget 2022. Basé sur les données d'OT produites par GardeFeu, ce système propose un service de renseignement de bout en bout sur les feux à l'attention des décideurs opérationnels, et en particulier les gestionnaires provinciaux et territoriaux de feux de forêt.

Le segment spatial GardeFeu collecte des données multispectrales en mettant l'accent sur les mesures infrarouges radiométriques de précision à ondes moyennes (3-5 μm) et à ondes longues (8-14 μm) avec des attributs de données compatibles avec la suite de radiomètres pour imageurs dans l'infrarouge et le visible (VIIRS). Ces données sont recueillies deux fois par jour, surtout pendant la période optimale de brûlage (en fin d'après-midi, vers 17 h 00, heure solaire locale) et à nouveau 12 heures plus tard pendant le survol réciproque. Le moment de ces observations est essentiel pour s'aligner sur les écarts connus de la couverture existante et sur les cycles de prise de décision en matière de gestion des incendies.

Les données collectées par les engins spatiaux GardeFeu sont transmises au segment sol, traitées au Niveau 1b et transférées aux utilisateurs finaux partenaires au niveau du COS. Avec ces données, le COS génère des produits de renseignement sur les incendies en fonction des observations de GardeFeu, puis les envoie aux utilisateurs finaux (gestionnaires des incendies provinciaux et territoriaux) presque en temps réel.

La rapidité de ce cycle survol-production-livraison est essentielle pour atteindre l'objectif de la mission, qui est de soutenir la prise de décision stratégique dans la gestion des incendies de forêt. Bien que chaque juridiction gère les feux de forêt à sa manière, de manière générale, toutes les agences de gestion des incendies participent quotidiennement à deux exercices de planification stratégique. En premier lieu, à la fin de la journée suivant la période de brûlage maximal (vers 18 h 00-19 h 00, heure solaire locale), l'efficacité et la hiérarchisation des réponses sont évaluées pour le lendemain. En second lieu, l'évaluation faite le soir est de nouveau évaluée en fonction de l'activité nocturne avant la mobilisation du matin (vers 6 h 00, heure solaire locale). Avec la livraison en temps voulu des produits de données scientifiques GardeFeu avant la tenue de ces sessions de planification, et compte tenu du fait que ces renseignements ne datent pas de plus de 30 minutes, il est possible que ce système de surveillance permette des changements significatifs dans la quantité et la qualité des informations utilisées dans les stratégies opérations de planification.

4.1 CLASSIFICATION DES DONNÉES

Cette section donne un aperçu général de la terminologie utilisée en matière de traitement des données, de la classification et des classes de produits générées par le COS pour répondre aux besoins des utilisateurs finaux.

Les types de données sont classés en tant que données appartenant au segment spatial, au segment sol et au segment utilisateurs. La classification des produits de données est répertoriée dans le Tableau 4 1, et illustré dans la Figure 4-1.

TABLEAU 4- 1. CLASSEMENT DES TYPES DE DONNÉES

Segment de mission	Type de données	Étiquette de données	Définition
Segment spatial	Données scientifiques embarquées	Données auxiliaires	Données d'image, de charge utile et de plateforme, y compris les mesures de température, les tables de gain et les tables de décalage.
		Données de signal de scène	Données binaires non traitées générées par les capteurs.
		Données traitées à bord	Données d'image corrigées, moyennées et/ou dont le bruit a été supprimé.
	Données de télémessure	Télémessure de la plateforme	Paquet de données télémétriques de la plateforme.
		Télémessure de la charge utile	Paquet de données télémétriques de la charge utile.
Segment sol	Produits de données scientifiques	<u>Données brutes</u> <u>Niveau 0</u> <u>Niveau 1a</u> <u>Niveau 1b</u>	Voir le Tableau 4-2.
		Produit de signal de scène	Produit de données spécial, les paquets reconstruits sont composés de données et de métadonnées de signal de scène non traitées.
		Autres données auxiliaires	Données d'image, de charge utile ou de plateforme non reçues du satellite (facteurs de correction et informations supplémentaires requises pour le géocodage, par exemple).
Segment utilisateurs	Produits de données	<u>Palier 1</u> <u>Palier 2</u> <u>Palier 3</u>	Voir la section 4.3
	Entrées de données	Données d'OT externes	Données provenant d'actifs d'observation de la Terre non GardeFeu (le spectroradiomètre imageur à résolution moyenne (MODIS), par exemple).
		Autres données auxiliaires	Données supplémentaires non GardeFeu utilisées pour générer des produits de données de Palier 3 (le type de forêt, l'humidité du sol ou les mesures de risque d'incendie, par exemple).

Les données brutes sont reçues dans des paquets avec une surcharge CCSDS. Il peut s'agir d'une combinaison de données auxiliaires, de données de signal de scène et de données traitées à bord.

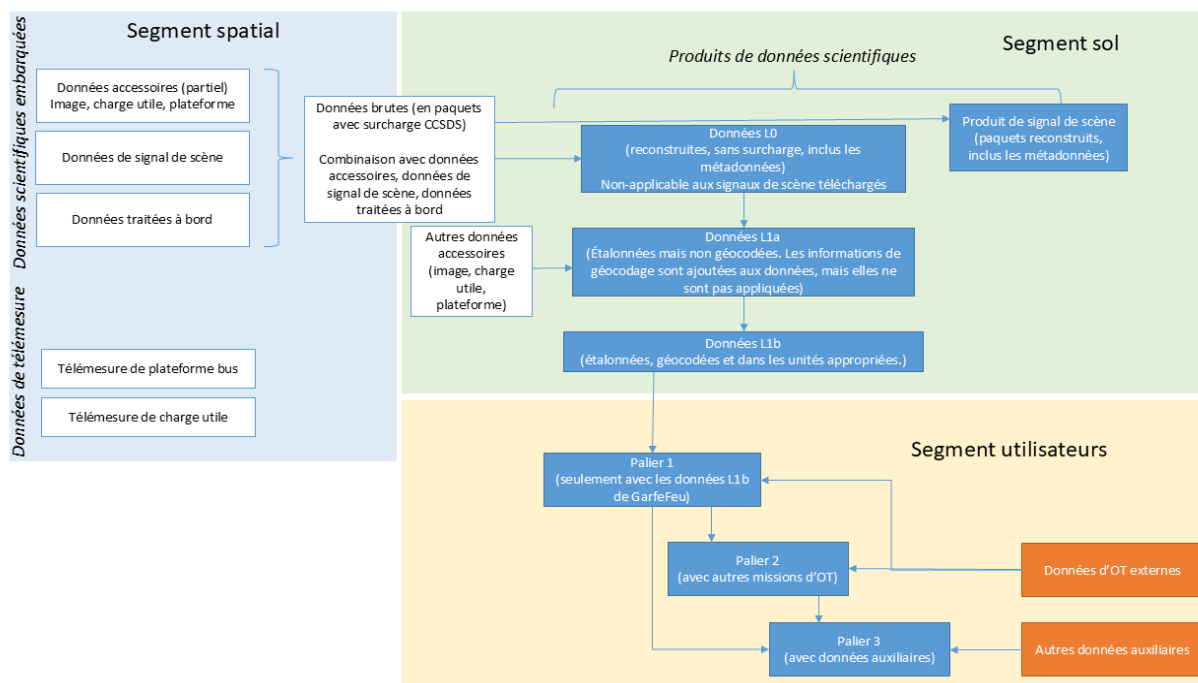


Figure 4-1. Classification des produits de données GardeFeu.

4.2 NIVEAUX DE TRAITEMENT DES DONNÉES

Les niveaux de traitement des données standard de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) sont tels que définis en RD-01. Pour plus de commodité, le Tableau 4 2 rappelle les niveaux de traitement des données applicables. Noter que les produits de données scientifiques de Niveau 2, de Niveau 3 et de Niveau 4 définis par la NASA ne sont actuellement mis en correspondance avec aucun palier de produit de données scientifiques défini en fonction des besoins des utilisateurs dans la section 4.1. Par conséquent, les produits de données scientifiques de Niveau 2 au Niveau 4 sont considérés comme n'étant pas applicables à cette mission pour le moment.

TABEAU 4- 2NIVEAUX DE TRAITEMENT DES DONNÉES

Niveau de traitement des donnée	
Données brutes	Données dans leur paquet d'origine telles qu'elles ont été reçues de l'engin spatial.
Niveau 0	Données brutes de l'instrument qui ont été reconstruites à partir des paquets de données brutes.
Niveau 1a	Données étalonnées, mais non géocodées. Les informations de géocodage sont ajoutées aux données, mais elles ne sont pas appliquées.
Niveau 1b	Données étalonnées, géocodées et placées dans les unités appropriées.

4.3 PRODUITS DE DONNÉES

Les produits de Palier 1 et de Palier 2 sont destinés à être livrés en quasi temps réel. Une liste des niveaux d'exactitude requis des éléments de données liés au DEM dans les produits de données est fournie dans le Tableau 4-3.

- **Produits de données de Palier 1**

Les produits de Palier 1 sont ceux générés exclusivement à l'aide des données GardeFeu de Niveau 1b. Il s'agit du niveau de données que le COS fournit à l'ECCC pour les applications liées à la fumée et à la qualité de l'air. Le principal objectif du Palier 1 est de localiser les feux de forêt brûlant activement et de quantifier la puissance radiative du feu (PRF). Les mesures précises de la PRF sont pertinentes pour le déroulement de l'incendie, la surveillance de la fumée et les activités de détermination des émissions de carbone.

Ces produits comprennent des composants essentiels, tels que :

- Masques de nuage : entrée essentielle dans l'algorithme contextuel de détection d'incendie (nécessite : Infrarouge proche/visible [VIS/NIR]).
- Détection d'incendie : Analyse contextuelle des anomalies thermiques de la scène, comprenant des tests multispectraux pour identifier les pixels d'incendie probables appelés « points chauds » (nécessite l'infrarouge à longueur d'onde moyenne [MWIR], l'infrarouge à grande longueur d'onde [LWIR], le VIS/NIR).
- Caractérisation du feu : Analyse sous-pixel des pixels de points chauds pour déterminer la taille et la température effective du feu (nécessite l'infrarouge à longueur d'onde moyenne et l'infrarouge à grande longueur d'onde).
- Puissance radiative du feu : mesure du taux d'émission thermique des pixels en brûlage actif (nécessite l'infrarouge à longueur d'onde moyenne et potentiellement l'infrarouge à grande longueur d'onde).
- Cartographie de la zone brûlée : Pour le contexte ajouté, une carte de la zone déjà brûlée associée aux points chauds actifs est fournie (nécessite VIS/NIR, et optionnellement l'infrarouge à longueur d'onde moyenne et l'infrarouge à grande longueur d'onde).

- **Produits de données de Palier 2**

Les produits de Palier 2 sont ceux qui nécessitent la fusion des produits GardeFeu de Palier 1 et des produits de données d'OT auxiliaires non GardeFeu, en particulier les produits de données d'incendie actif VIIRS. Ce processus de synthèse des données permet au COS d'automatiser la détection active de l'évolution des incendies entre l'heure VIIRS (vers 13 h 00 et 1 h 00) et l'heure de survol de GardeFeu, de manière à quantifier efficacement les paramètres de développement des feux de forêt au cours de la période écoulée.

Ces produits visent à décrire le comportement du feu et incluent des estimations du développement de l'incendie et de la vitesse de progression, de la direction de propagation et de l'intensité de la ligne de feu. La précision de ces produits est

étroitement liée à la résolution spatiale, à la clarté de l'image infrarouge à longueur d'onde moyenne, à l'heure de survol et à l'intégrité de la PRF.

- **Produits de données de Palier 3**

Les produits de Palier 3 proposent une analyse contextuelle et des prévisions améliorées associées aux observations de Palier 1 et de Palier 2 grâce à l'utilisation d'ensembles de données géospatiales auxiliaires et d'outils de modélisation. Cela inclut les couches de données contenant des informations sur : (1) l'emplacement des communautés, des structures, des infrastructures et des installations industrielles, (2) les données de recensement, (3) les combustibles forestiers et leur état, (4) le risque d'incendie, (5) la topographie et (6) les prévisions météorologiques. Les produits de Palier 3 sont obtenus grâce à un certain nombre d'outils de modélisation, y compris des modèles de développement d'incendie, tous issus de la communauté élargie des sciences du feu. Les produits de Palier 3 proposent (entre autres) des évaluations de la menace potentielle pour les communautés et les infrastructures à différentes échelles temporelles, ainsi que des options potentielles d'atténuation.

TABLEAU 4-3 EXACTITUDE DES PRODUITS DE DONNÉES SÉLECTIONNÉS PERTINENTE POUR LE DEM

Palier	Éléments de données	Exactitude*	Format (unités)
1	Masque de nuage	Incertitude moyenne de 25 % dans l'affectation catégorielle	Raster catégoriel (0-4) : 0 – sans nuage 1 – généralement sans nuage 2 – partiellement nuageux 3 – complètement nuageux 4 - fumée contaminée
1	Détection active d'incendie	Moyenne de 10 % d'erreurs d'omission et de mise en service pour un incendie de 5 MW	Raster binaire
1	PRF	Moins de 15 % d'incertitude pour les feux de 5 MW et plus	Attribut de feu actif : (MW)
1	Caractérisation de sous-pixel	Moins de 25 % d'incertitude lors des extractions	Attribut de feu actif : • Aire d'incendie effective (fraction de pixel) Température de feu effective (K)
1	Zone brûlée	Moyenne de 25 % d'erreurs d'omission et de mise en service par rapport aux produits de plus haute fidélité	Raster binaire
2	Progression du feu	Environ 5 m/min sur la période d'échantillonnage	Les données vectorielles estiment la vitesse de propagation du feu entre l'heure VIIRS et l'heure de survol de GardeFeu (m/min)
2	Sens de propagation	Environ 15 degrés	Attribuer à la progression du feu (degrés d'azimut)

(*) **Remarque** : toutes les exactitudes visent à refléter les incertitudes du produit final en tenant compte de toutes les sources d'erreur, y compris (mais sans s'y limiter) celles liées à l'environnement, au contexte, à la charge utile, aux caractéristiques de la cible, aux ensembles de données externes et aux facteurs algorithmiques.

4.4 JUSTIFICATION DE L'ÉLABORATION DES EXIGENCES

Lors de l'élaboration des nombreuses exigences de la mission GardeFeu, certaines décisions de compromis ont été prises dans le but d'optimiser les performances pour atteindre l'objectif central de la mission : fournir un soutien opérationnel en quasi temps réel aux gestionnaires des incendies de forêt. Il est d'une importance capitale de noter que tous les produits opérationnels en quasi temps réel utilisés dans le cadre de cette mission sont automatisés, avec une intervention humaine minimale (sauf si un débogage est nécessaire). Dans cet esprit, il s'agit en priorité d'assurer la cohérence des données et de réduire le plus possible les artefacts. Dans cette section, certains de ces compromis sont abordés, en particulier lorsque plusieurs exigences sont directement en concurrence les unes avec les autres ou lorsque la justification des exigences est moins évidente. Cela dit, cette section n'a pas vocation à être exhaustive

quant à son traitement des exigences de la mission ni dans la justification qu'elle fournit pour leur définition. Les exigences de la mission décrivent un système qui est interdépendant avec un haut degré de complexité, et il est rare qu'une exigence soit déterminée par un seul facteur. Souvent, les exigences sont l'expression de connaissances scientifiques concurrentes, de demandes opérationnelles, de limites pratiques et d'un empiètement d'autres exigences. Notamment, toutes les exigences ont évolué et ont été affinées tout au long des analyses itératives menées en Phase 0 et en Phase A. En tant que telle, la justification qui suit ne peut généralement pas être liée aux chiffres précis énumérés dans de nombreuses exigences (car ceux-ci sont également issus de ce qui est réputé faisable à partir des études en Phase A menées par l'industrie). Ces justifications démontrent plutôt les priorités et les considérations qui ont éclairé la définition des exigences.

4.4.1. Couverture et coélévation

Dans de nombreux systèmes d'observation de la Terre, la couverture est la première exigence qui entraîne des coûts et de la complexité. Les exigences de GardeFeu ne demandent pas une couverture quotidienne à 100 % de la zone d'intérêt canadienne à chaque heure de survol, bien qu'il soit possible d'y parvenir en assouplissant les restrictions sur l'angle de coélévation pour élargir la fauchée. Toutefois, il est essentiel de limiter l'angle de coélévation à moins de 30 degrés afin d'assurer une qualité de produit de feu adéquate.

Cela s'explique en partie par le fait que les performances optiques, la transmission atmosphérique et la déformation du champ de visée instantané au sol sont toutes affectées par l'angle de coélévation (et par extension par l'angle de champ de vision de la caméra). La limitation de l'angle de coélévation à moins de 30 degrés garantit que la transmission efficace combinée de l'éclairage relatif de la caméra, de la transmission atmosphérique et des effets de déformation du champ de visée instantané au sol ne tombera pas en dessous de la moitié de sa valeur de vue du nadir (voir la Figure 4-2 ci-dessous, qui repose sur un calcul simple basé sur la dépendance angulaire $\cos^4$ de l'illumination relative dans les systèmes d'imagerie classiques). Une telle baisse de transmission entraîne une diminution significative de la précision de la PRF en raison de la sensibilité radiométrique réduite du capteur et de l'augmentation des erreurs lors de la compensation des effets atmosphériques.

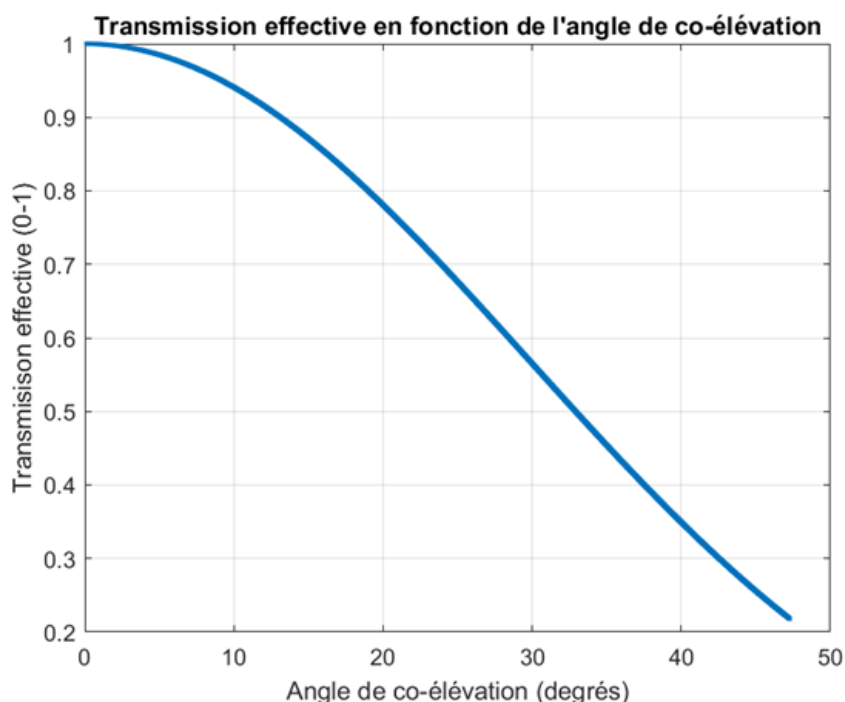


Figure 4-2. Transmission effective par rapport à l'angle de coélévation d'un élément au sol sous-pixel vu par une caméra de visualisation au nadir en orbite basse terrestre, y compris les effets de l'éclairage de la caméra, de la transmission atmosphérique et de l'échantillonnage au sol.

De plus, la limitation de l'angle de coélévation à 30 degrés réduit la fréquence des écarts de couverture causés par les profils montagneux et les canopées, et atténue les erreurs de parallaxe résultant de la géolocalisation des nuages et des panaches de fumée vus selon des angles obliques. De plus, au-delà de 30 degrés d'angle de coélévation, la fréquence des artefacts induits par un panache de fumée dans les produits actifs devient considérablement plus élevée (ce qui est un obstacle important pour une utilisation opérationnelle et une interprétation en quasi temps réel des produits).

En consultation avec des experts internationaux dans le domaine, il a été convenu qu'un angle de coélévation de 30 degrés est le point auquel une perte significative de la qualité des données est apparente dans les produits de feu actif des systèmes VIIRS et MODIS⁶. Cet angle de coélévation se trouve approximativement à l'endroit où l'uniformité des pixels VIIRS se dégrade de manière significative et où les effets de transmission atmosphérique augmentent considérablement, entraînant une baisse de la sensibilité de détection et une augmentation de l'incertitude lors des extractions de la PRF.

4.4.2. Bandes MWIR et LWIR

Les bandes thermiques sont nécessaires pour détecter les pixels d'incendie actif et collecter leurs mesures radiométriques afin de caractériser les incendies de forêt. À cet effet, elles doivent répondre à un certain nombre d'exigences strictes, qui ne seront pas toutes abordées

⁶ M. Wooster, W. Shroeder, communication personnelle.

dans cette section. Il est essentiel de noter que les performances MWIR sont de la plus grande importance pour la charge utile, suivies de près par la LWIR.

4.4.3. Placement de la bande MWIR

La priorité absolue pour mesurer la PRF à partir des données d'OT provient de la bande MODIS 21, qui est une bande extrêmement étroite centrée à 3,9 μm . Des bandes spectrales similaires ont été largement utilisées dans le cadre de travaux expérimentaux sur la PRF au cours des 20 dernières années (par exemple, Wooster et al., en 2005, et bien d'autres). En règle générale, la bande la plus étroite possible à 4,0 μm est optimale pour estimer la PRF. Toutefois, cette bande spectrale MWIR précise n'est pas essentielle, comme c'est le cas pour l'instrument SLSTR de Sentinel-3 (3,74 μm , Xu et al., 2020⁷) et le système VIIRS (Canal I4 = 3,55 à 3,93 μm , centré à 3,74 μm , Schroeder et al., 2014⁸). En revanche, il est essentiel que la limite supérieure de la bande spectrale ne coupe pas la bande CO₂ à 4,2 μm , au risque de provoquer une instabilité dans les extractions. La limite inférieure de la bande MWIR concerne principalement la réflexion solaire. Pour éviter une incidence élevée de faux positifs et de signaux de confusion dans l'estimation de la PRF, il est important de limiter la quantité de réflexion solaire présente dans la bande MWIR. D'une manière générale, la majorité de la réflexion solaire peut être évitée avec une bande spectrale supérieure à 3,5 μm .

Lors de la définition des exigences en matière de bande spectrale pour la bande MWIR, il a également été considéré d'améliorer le rapport signal sur bruit aux niveaux ambiants (où la luminance énergétique MWIR est minimale). Une bande plus large présente un avantage dans ce cadre, mais les contraintes notées ci-dessus ont été prises en compte. La bande telle qu'elle est actuellement définie insiste sur une réponse maximale centrée à 3,9 μm , tout en coupant brusquement à 4,2 μm et permettant une limite inférieure plus détendue d'environ 3,4 μm (à condition qu'elle se situe à la fin de la fonction de réponse spectrale [FRS] de l'instrument).

4.4.4. Exigences de sensibilité, de précision et d'exactitude

4.4.4.1. Sensibilité

La charge utile thermique doit avoir la sensibilité requise pour détecter et caractériser des événements à haute température (EHT) sous-pixel de 200 m² ou moins avec le NESR de base afin de répondre aux besoins des utilisateurs finaux partenaires. Pour ce faire, le NESR doit être tel que ces pixels EHT élèvent le signal de pixel au-delà du seuil de bruit de 3 sigma. Cette exigence de sensibilité dépend de la résolution spatiale, car il s'agit de la zone de pixel fractionnaire. La Figure 4-3 présente une simulation simple d'une cible sous-pixel de différentes tailles avec une température moyenne de 800 K (représentant la température de luminance apparente moyenne d'un feu de forêt émergent classique comprenant une combustion tant vive que lente, et tenant compte de l'émissivité) sur un fond à 300 K, pour des pixels avec champ de vision instantanée de 400 m et 500 m (en prenant pour hypothèse une énergie encadrée de 0,75 et une transmittance atmosphérique de 80 %). Comme on peut le voir, en appliquant un

⁷ 10.1016/j.rse.2020.111947

⁸ 10.1016/j.rse.2013.12.008

seuil de bruit de 3 sigma, un événement à haute température de 200 m² est détectable avec un champ de vision instantanée de 400 m, mais pas de 500 m.

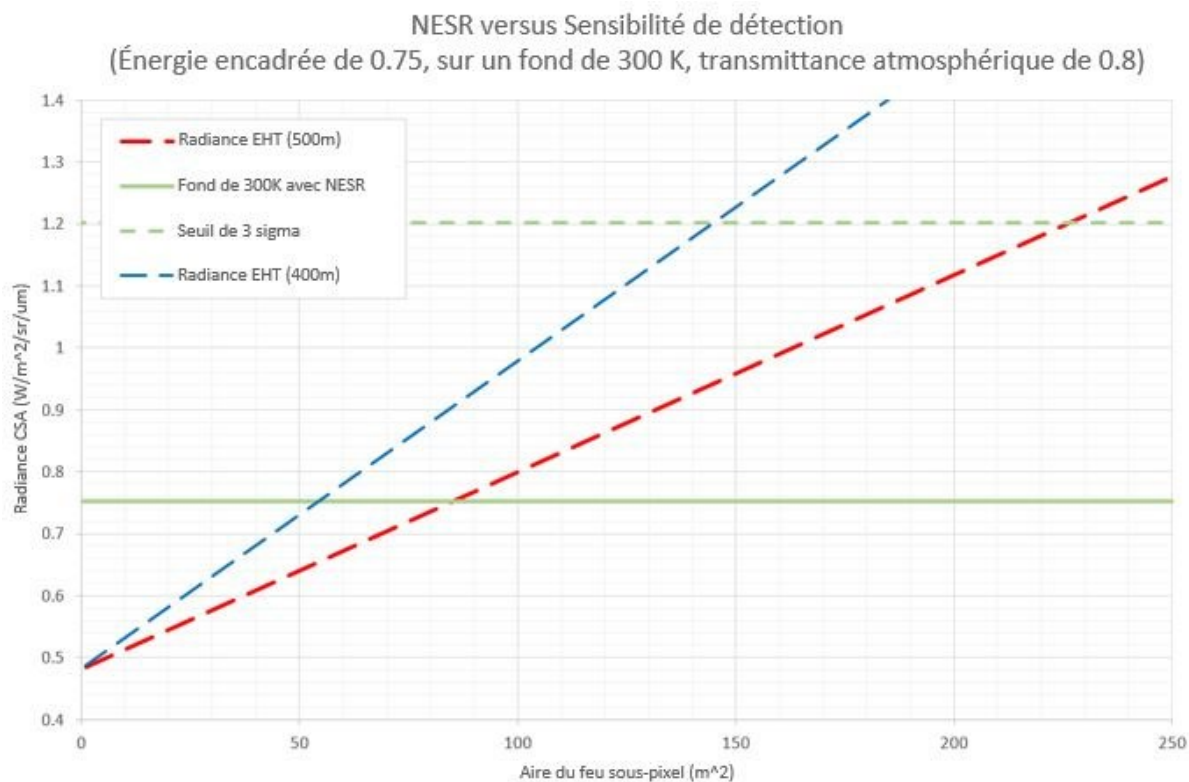


Figure 4-3. Relation entre l'aire d'un feu sous-pixel de 800 K sur un fond de 300 K et la radiance spectrale équivalente au bruit (NESR).

4.4.4.2. Précision

Bien que la sensibilité de la détection dépende à la fois de la résolution spatiale et de la NESR, les exigences en matière de NESR dépendent elles-mêmes de la précision des mesures. Comme indiqué ci-dessus, la sélection de pixels de premier ordre décrite dans la Figure 4 3 permet d'identifier uniquement les pixels d'incendie candidats. Afin de confirmer la présence d'un incendie et de rejeter les autres émetteurs thermiques, une analyse plus approfondie doit être effectuée. Ce processus, appelé « détection contextuelle des incendies » (Roberts et Wooster, 2008⁹; Wooster et al., 2012¹⁰; Schröder et al., 2014¹¹; Giglio et al., 2016¹²; Xu et al., 2020¹³), nécessite de procéder à une analyse multispectrale du pixel EHT dans le contexte d'autres caractéristiques du paysage qui peuvent provoquer des faux positifs (par exemple, la proximité de plans d'eau, de zones urbaines ou industrielles, etc.). Dans la bande MWIR, l'exigence de précision nécessite uniquement la capacité de distinguer les entités géographiques brutes dans l'arrière-plan ambiant (par exemple, les surfaces terrestres par rapport aux lacs, etc.), pour s'assurer que l'EHT est bien une cible de végétation. En revanche, la bande LWIR est utilisée pour apporter des informations contextuelles à échelle plus fine et compenser la plus faible sensibilité à la température ambiante de la bande MWIR. La bande LWIR doit être capable de mesurer les luminances de surface ambiantes de fond avec une précision et une uniformité d'image suffisantes pour résoudre les caractéristiques d'images adjacentes avec des différences de température de 0,1 K, pour une température ambiante de 300 K. Souvent, lors de l'exécution de ce type d'algorithmes de détection, des précisions similaires sont obtenues dans les bandes MWIR et LWIR (comme pour la suite de radiomètres pour imageurs dans l'infrarouge et le visible VIIRS, par exemple). Cela dit, dans le cas des exigences actuelles, une concession a été faite pour assouplir l'exigence de la NESR dans la bande MWIR au niveau maximal autorisé absolu, pour tenir compte des nouvelles technologies. Cette considération a été motivée par la prévalence de réseaux de capteurs microbolométriques non refroidis bidimensionnels (2D) sensibles au MWIR qui permettent d'ajouter des données pour dépister les faux positifs (des informations temporelles, par exemple), réduisant ainsi la demande de précision contextuelle du MWIR. Toutefois, il est important de noter que dans les exigences, la NESR est présentée comme étant le bruit avant l'application d'un facteur de correction, car il est pris pour hypothèse que ces niveaux peuvent être abaissés dans une plus large mesure par des approches d'échantillonnage. La réduction des niveaux de bruit MWIR est considérée comme l'une des

⁹ Roberts G, Wooster MJ, Fire Detection and Fire Characterization Over Africa Using Meteosat SEVIRI, IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, 2008;46: 1200-18.

¹⁰ Roberts G, Wooster MJ, Fire Detection and Fire Characterization Over Africa Using Meteosat SEVIRI, IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, 2008;46: 1200-18.

¹¹ Schroeder W, Oliva P, Giglio L, Csiszar IA, The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment, Remote Sensing of Environment, 2014;143: 85-96

¹² Giglio L, Schroeder W, Justice CO, The Collection 6 MODIS Active Fire Detection Algorithm and Fire Products, Remote Sens Environ, 2016;178: 31-41.

¹³ Xu W, Wooster MJ, He J, Zhang T, First study of Sentinel-3 SLSTR active fire detection and FRP retrieval: Night-time algorithm enhancements and global intercomparison to MODIS and VIIRS AF products, Remote Sensing of Environment, 2020;248: 111947.

priorités absolues dans la conception de la charge utile, et c'est la raison pour laquelle la TDI fait l'objet d'une exigence.

4.4.4.3. Exactitude

Les bandes thermiques doivent également collecter des mesures radiométriques exactes des données afin de caractériser les feux de forêt détectés. La caractérisation du feu comprend la caractérisation de la PRF et la caractérisation de la température et de l'aire d'incendie sous-pixel. L'exactitude de mesure du MWIR repose sur la nécessité d'atteindre une exactitude à l'intérieur d'une marge d'erreur de $\pm 15\%$ dans l'estimation de la PRF d'un feu de 5 MW ou plus. Ce seuil de $\pm 15\%$ a été choisi sur la base des meilleures performances actuelles estimées des produits de PRF existants correspondant à un feu de faible importance détecté par satellite, ce seuil s'étant d'ailleurs avéré techniquement faisable dans la Phase A de la mission. L'exactitude de mesure radiométrique est influencée par (1) la sensibilité du capteur (NESR) et (2) la capacité à étalonner le capteur avec précision et à compenser les dérives de signal induites par les phénomènes thermiques. Au bas de la plage dynamique de la bande MWIR, l'exactitude va principalement être limitée par la sensibilité du capteur (NESR). En revanche, à l'extrémité supérieure de la plage dynamique, les erreurs d'étalonnage sont le facteur déterminant de l'exactitude de mesure radiométrique. Une exactitude de mesure radiométrique avec une erreur à l'intérieur de $\pm 5\%$ devrait permettre de mesurer la PRF d'un feu avec une erreur à l'intérieur de $\pm 15\%$. Cette performance est considérée comme techniquement réalisable sur la base d'études récentes qui ont démontré qu'un imageur radiométrique microbolométrique correctement étalonné, similaire à l'imageur de référence de la Phase A, peut atteindre ce degré de concordance avec les systèmes refroidis conventionnels lors de l'observation des luminances énergétiques à haute température obtenues à partir de brûlages expérimentaux (Dufour et al., 2021¹⁴). En tout état de cause, cette exigence d'exactitude a pour effet d'imposer la nécessité de procéder à des étalonnages rigoureux sur toute la plage dynamique avant le lancement et à des étalonnages du gain périodique en orbite.

L'exactitude de mesure LWIR repose sur la nécessité d'estimer avec précision les luminances des surfaces terrestres pour les pixels ambiants et des EHT à utiliser dans la méthode Dozier pour la caractérisation sous-pixel. Noter que les exigences d'exactitude de mesure sont beaucoup plus strictes pour la bande LWIR aux températures ambiantes. Les estimations des températures de fond de la surface terrestre déduites de la bande LWIR seront également utilisées pour approximer le signal ambiant MWIR en utilisant la loi de Planck qui, autrement, présentera trop d'incertitude. Avec des mesures précises des luminances énergétiques de fond dans la bande LWIR, les approximations dans la bande MWIR et les luminances énergétiques EHT non saturées dans les deux bandes, il est possible d'estimer l'aire d'incendie sous-pixel et la température moyenne grâce à une analyse radiométrique bispectrale. Cette caractérisation sous-pixel est essentielle pour caractériser avec précision les feux de faible intensité qui viennent d'être

¹⁴ Dufour, D, Le Noc, L, Tremblay, B, Tremblay, MN, Généreux, F, Terroux, M, Vachon, C, Wheatley, MJ, Johnston, JM, Wotton, M, Topart, P (2021) A Bi-Spectral Microbolometer Sensor for Wildfire Measurement. Sensors 21, 3690.

détectés, et pour décrire le comportement des feux de forêt dans les incendies de plus grande importance surveillés.

4.4.4.4. Résumé

Les exigences de sensibilité, de précision et d'exactitude décrites ici répondent aux exigences de seuil des utilisateurs finaux, mais les performances globales aux luminances énergétiques ambiantes sont limitées. Il est préférable que la caractérisation de la scène puisse permettre de discerner des variations plus subtiles des entités de surface ambiantes afin de contextualiser la scène. Dans l'ensemble, les valeurs NESR restent à la limite extérieure de ce qui est utilisable à cet effet. Tous les efforts doivent être faits pour réduire le plus possible la NESR dans les deux bandes. C'est la base de l'exigence d'intégration temporisée.

4.4.5. Résolution spatiale

La résolution spatiale des bandes MWIR et LWIR est présentée comme une variable essentielle tout au long de la Section 4. La plupart des exigences évoluent en fonction de cette variable, surtout parce que les bandes MWIR et LWIR sont utilisées pour la radiométrie (souvent des événements de sous-pixels). Il est également essentiel que la surface au sol échantillonnée par la bande MWIR et la bande LWIR reste similaire, afin de garantir que les luminances énergétiques EHT observées sont proportionnées et varient principalement en raison de leurs propriétés spectrales. Cela permet de réduire les incertitudes dans l'analyse bispectrale de sous-pixels. De plus, la résolution spatiale de ces bandes ne doit pas dépasser environ 400 m, car ces bandes sont également le principal outil d'estimation de la vitesse de propagation du feu entre le survol de VIIRS (vers 13 h 00, heure solaire locale) et l'observation de GardeFeu (vers 17 h 00, heure solaire locale). La précision dans l'estimation de la vitesse de propagation des feux de forêt est liée à l'incertitude d'emplacement du sous-pixel de position du front de flamme (amplifiée par sa structure non linéaire), ainsi qu'à l'incertitude du moment et de la durée de l'événement de propagation pendant le temps écoulé. L'exactitude de ces estimations dépend également de la vitesse de propagation du feu observée. La vitesse de propagation d'un feu de forêt varie considérablement autour de son périmètre et à mesure des variations, même mineures, de la vitesse du vent, de la direction et de la topographie. En règle générale, les vitesses de propagation classiques sont bien inférieures à 20 m/min, mais dans des cas extrêmes, elles peuvent dépasser 100 m/min. Des résolutions spatiales plus grossières ne donneraient lieu qu'à un comportement détectable plus extrême du feu et, dans la majorité des cas, empêcheraient l'estimation des vitesses de propagation.

4.4.6. Signatures temporelles MWIR et LWIR

Même en utilisant la bande LWIR pour décrire le contexte des pixels EHT détectés dans la bande MWIR, la capacité à effectuer une analyse contextuelle précise dans l'algorithme de détection d'incendie sera quelque peu limitée par la NESR dans la bande MWIR. Comme cela a déjà été précisé, la mission a vocation à apporter un soutien à la surveillance (et non spécifiquement à la détection). Toutefois, il est toujours nécessaire de rejeter les faux positifs filtrés en fonction du seuil SNR indiqué dans la Figure 4-3. C'est la raison pour laquelle les utilisateurs finaux partenaires ont souligné la nécessité de disposer de données temporelles sur les EHT supplémentaires pour faciliter la classification des EHT (par exemple, incendies vs volcans vs réflexions solaires vs sites industriels, etc.).

Des mesures réalisées sur le terrain ont mis en évidence une turbulence importante de la luminance énergétique émise par les feux de biomasse, quelle que soit leur taille. Ces signatures sont distinctives et ne peuvent pas être facilement confondues avec les séries chronologiques produites par des émetteurs plus statiques, ce qui réduit considérablement les erreurs de mise en œuvre.

Outre l'identification des faux positifs, les données de série chronologique pour les pixels EHT (pas tous les pixels) permettent un traitement d'image approfondi pour améliorer l'exactitude des produits de feu, grâce à des techniques telles que l'anticrénelage, la super-résolution, etc.

4.4.7. Plages dynamiques des bandes MWIR et LWIR

Les bandes MWIR et LWIR sont destinées à collecter les mesures radiométriques des feux de forêt pendant la période optimale de brûlage. Il est primordial que ces bandes ne saturent pas, car un pixel saturé perd toute sa valeur en radiométrie. Notamment, pendant la période de brûlage maximal, aucun système de satellites OT n'a jamais été capable de mesurer la luminance énergétique des feux de forêt à la résolution spatiale proposée. En d'autres termes, la comparaison de cette plage dynamique avec les systèmes existants n'est pas aisée. De plus, les feux de forêt canadiens sont réputés être les cibles les plus intenses dans la forêt boréale, même lorsqu'ils sont observés à environ 10 h 00, heure solaire locale (Wooster et Zhang, 2004¹⁵).

Pour définir le point de saturation du système, un exercice de modélisation a été mené. Dans le scénario proposé, un front de flamme de 50 m de profondeur présentant une température de luminance apparente de 1100 K (compte tenu de l'émissivité et de l'hétérogénéité) traverse le pixel en diagonale, suivi d'une cicatrice de brûlure en cours de refroidissement de 50 m de profondeur présentant une température de luminance apparente moyenne de 400 K, le tout reposant sur un fond de 300 K. La disposition de ces zones est telle que la zone de flamme est optimisée dans la zone d'échantillonnage, Figure 4-4.

¹⁵ Wooster MJ, Zhang YH, Boreal forest fires burn less intensely in Russia than in North America, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 2004;31.

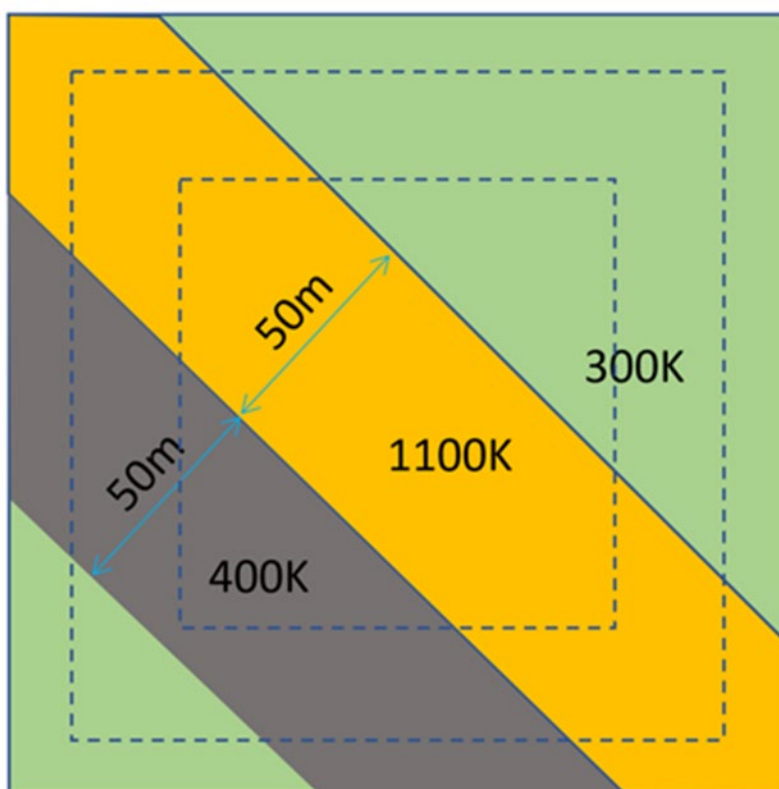


Figure 4-4. Luminance maximale au niveau de la surface.

La température de luminance maximale au niveau de la surface suppose qu'un pixel de capteur détecte un front de feu intense de manière à produire la température apparente maximale : le pixel est centré sur une ligne de feu diagonale de 50 m de profondeur à une température de 1100 K, derrière ce front se trouvant une zone de combustion lente de 50 m de profondeur avec une température de 400 K.

La température effective maximale observée par le capteur a été estimée en considérant 1) l'empreinte d'échantillonnage complète au niveau du sol (centrée sur la scène comme indiqué dans la Figure 4-4, 2) la luminance énergétique de la zone cible dans les bandes de longueur d'onde d'intérêt, en partant du principe qu'elle se comporte comme un radiateur de Planck parfait, 3) la fonction d'étalement du point projetée au sol d'un pixel de capteur (une série de FEP gaussiennes 2D avec différentes valeurs de largeur totale à mi-hauteur (LTMH) a été prise pour hypothèse) et 4) une transmittance atmosphérique réaliste maximale (90 %).

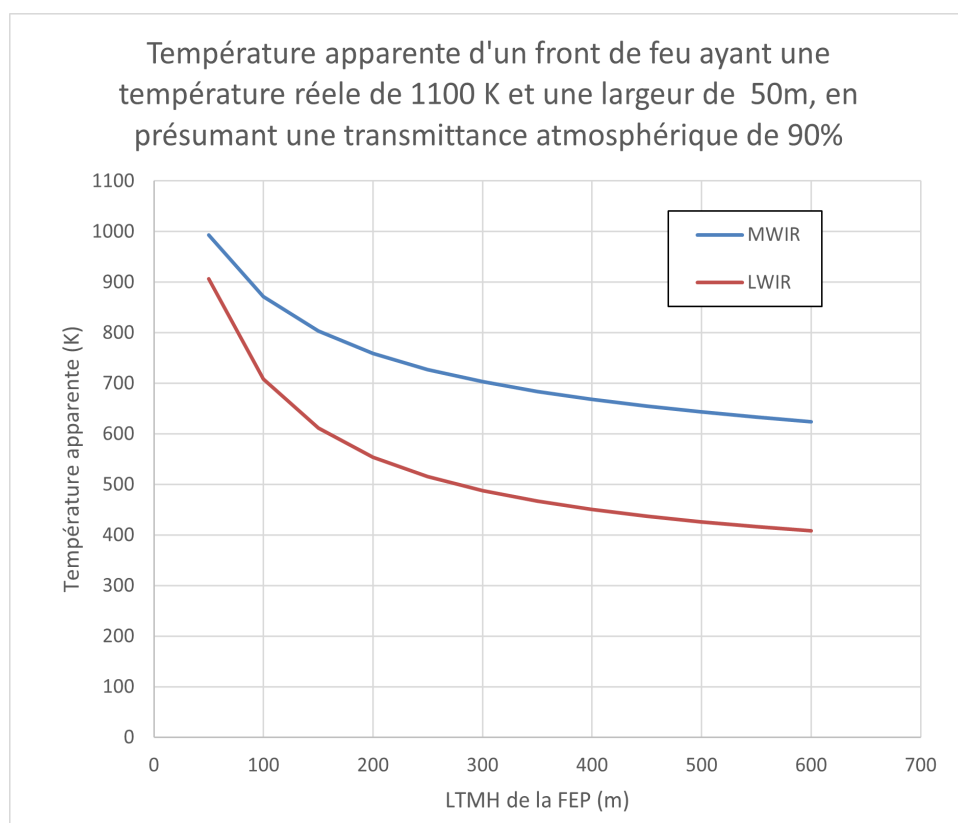


Figure 4-5. Températures de luminance simulées de la couche supérieure de l'atmosphère (CSA).

Noter : les températures de luminance simulées de la couche supérieure de l'atmosphère (CSA) auxquelles on peut s'attendre à différentes résolutions spatiales projetées au sol.

Comme le montre la Figure 4-5, il existe une forte relation entre la résolution spatiale et la plage dynamique. Cette simulation est à peu près en accord avec le point de saturation défini pour la bande MWIR de 750 m de la VIIRS qui est utilisée dans la mesure de la PRF. La résolution optimale pour la mission GardeFeu se situe entre 300 m et 500 m, puisque dans cet intervalle, la sensibilité à la vitesse de propagation du feu est préservée sans solliciter la plage dynamique de manière excessive (températures de saturation d'environ 700 K). Le point de saturation exact pour la bande doit être affiné par cette simulation dès que toutes les propriétés spectrales et optiques sont connues et qu'une fonction d'étalement du pont plus précise peut donc être définie.

4.4.8. Bandes VIS/NIR

Les bandes VIS/NIR ont pour principal objet de donner des informations contextuelles à utiliser dans l'algorithme de détection de feu actif (masquage des nuages, par exemple). Cependant, elles permettent également d'identifier les zones déjà brûlées, les colonnes de fumée et les zones adjacentes où des changements importants de combustibles forestiers se sont produits.

Ces bandes doivent permettre d'observer les luminances énergétiques réfléchies de la forêt boréale lors d'un survol de brûlage maximal. Il est essentiel que ces données coïncident avec les bandes MWIR et LWIR et couvrent l'intégralité de la fauchée, car l'algorithme de détection ne peut pas être exécuté sans un masque de nuage couvrant l'ensemble de données MWIR. La

stabilité est nécessaire entre les observations recueillies lors de jours d'observation successifs et un niveau d'étalonnage radiométrique de base avant le vol. Tout au long de la mission, les utilisateurs finaux partenaires ont l'intention de procéder à des étalonnages vicariants périodiques pour maintenir cet étalonnage si cela est nécessaire et le cas échéant.

Pour définir les exigences de gamme dynamique de luminance énergétique pour les bandes VIS/NIR, les luminances de scène maximale et minimale suivantes ont été prises pour hypothèse :

1. Luminance maximale : Lumière du soleil se reflétant sur un nuage (supposé être un diffuseur lambertien avec albédo = 1), pour l'angle zénithal le plus bas en fin d'après-midi (52°, correspondant à un emplacement 45°N le 21 juin).
2. Luminance minimale : Lumière du soleil se reflétant sur une surface terrestre sombre (supposée être un diffuseur lambertien avec albédo = 0,1), pour un angle zénithal élevé en fin d'après-midi (80°, correspondant à un emplacement 60°N le 1er septembre).

Un rapport signal sur bruit (SNR) adéquat est également nécessaire pour identifier les cicatrices de brûlure du terrain environnant. Un scénario a été considéré dans lequel une cicatrice de brûlure (albédo = 5 %) devait être distinguée d'une forêt d'épinettes (albédo = 10 %). Un scénario d'éclairage sombre (zénith solaire = 80°) a été pris pour hypothèse, le niveau de luminance énergétique de référence ayant été calculé en tenant compte de la réflectance diffuse de la Terre pour un albédo de surface de 5 % (cicatrice de brûlure).

Le SNR requis à ce niveau a été calculé en sachant que l'objectif final est l'identification des pixels avec au moins 75 % de surface brûlée à étiqueter en pixels « Brûlés ». En prenant pour hypothèse que le niveau de bruit doit être suffisamment bas pour résoudre 5 % de zone brûlée par pixel, la différence d'albédo correspondante entre 100 % de pixel de forêt et (95 % de pixel de forêt + 5 % de pixel brûlé) est :

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{forest} - (0,95 \varepsilon_{forest} + 0,05 \varepsilon_{burn}) = 0,0025$$

Le niveau SNR correspondant au niveau d'albédo de référence de la cicatrice de brûlure est de $0,05/0,0025 = 20$. Par conséquent, une valeur SNR minimale de 20 est requise pour le scénario de référence d'éclairage sombre.

4.4.9. Exigences d'acquisition coïncidente

L'accent est mis sur l'acquisition coïncidente entre bandes dans toutes les définitions possibles. En résumé, toutes les bandes doivent être comparées directement les unes aux autres pour un emplacement cible spécifique au sol. Cette analyse multispectrale doit être possible sur toute la fauchée. Cela nécessite un alignement étroit des centroïdes de chaque pixel. Dans le cas des bandes MWIR et LWIR, l'exigence est encore plus stricte en raison de l'interaction étroite des deux bandes en contrepartie de la NESR élevée de la bande MWIR, et parce qu'il faut également être certain de mesurer la luminance énergétique à partir de zones au sol presque identiques. Cela est particulièrement important dans la mise en œuvre de la caractérisation de sous-pixel

de la température et de la surface du feu (Dozier, 1981¹⁶) qui est réputée très sensible aux erreurs d'acquisition coïncidente (Giglio et Kendall, 2001¹⁷). C'est la raison pour laquelle la connaissance du pointage des pixels MWIR et LWIR coïncidents doit être extrêmement précise. La Figure 4-6 montre l'effet d'un mauvais alignement de l'image projetée d'un petit sous-pixel EHT par rapport au centre du pixel d'un capteur sur la quantité d'énergie captée par ledit pixel (énergie encadrée). Le scénario suppose une optique presque limitée par la diffraction dans la bande LWIR et un pas de pixel de 28 μm (pour un alignement parfait de l'image EHT avec le pixel, la fraction d'énergie encadrée est considérée comme étant de 80 %). Dans ces conditions, en principe classiques et réalisables, une pente maximale de 1 pour la fraction d'énergie encadrée par rapport à la fraction de désalignement des pixels peut être observée. Par conséquent, pour maintenir l'erreur de luminance énergétique de sous-pixel due au pointage à moins de 15 %, valeur jugée acceptable pour l'application de la méthode Dozier, la connaissance du pointage doit être supérieure à 15 % du champ de vision instantanée.

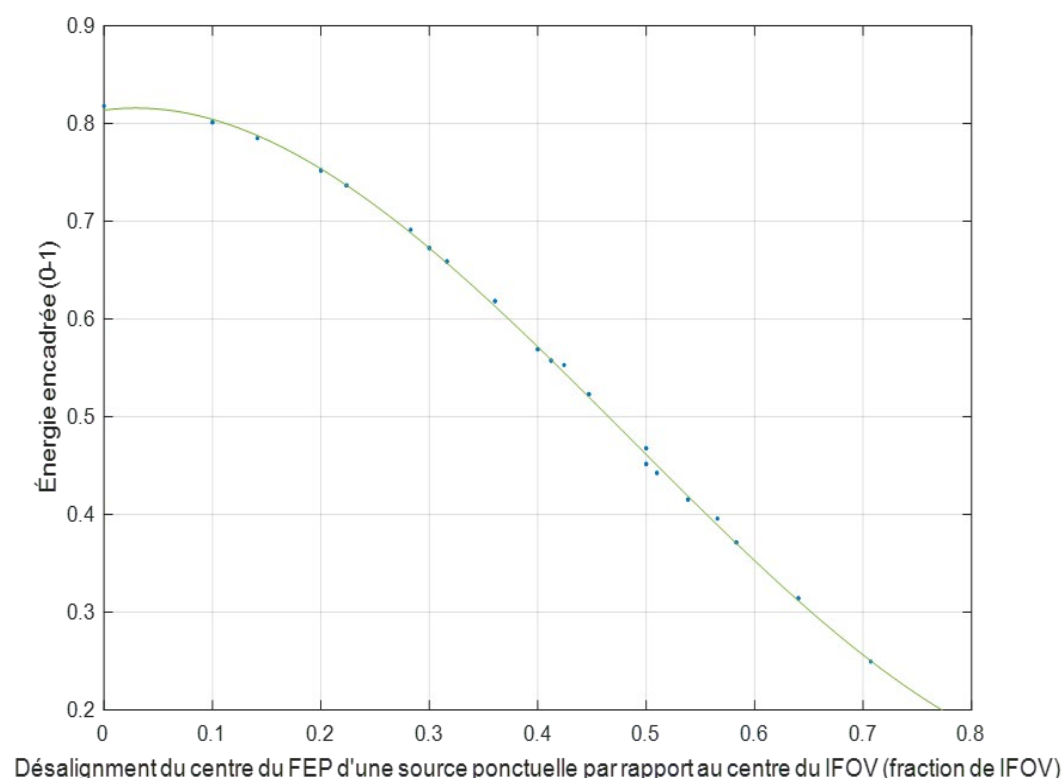


Figure 4-6. Effet du désalignement d'une source ponctuelle sur l'énergie encadrée capturée par un pixel.

L'angle d'observation est également important dans l'acquisition coïncidente de l'image VIS/NIR avec les images MWIR/LWIR correspondantes. L'acquisition coïncidente de l'image VIS/NIR précise vers MWIR/LWIR garantit que le masque de nuage déduit de VIS/NIR identifie

¹⁶ Dozier J, A Method for Satellite Identification of Surface Temperature Fields of Subpixel Resolution, Remote Sensing of Environment, 1981;11: 221-29.

¹⁷ Giglio L, Kendall JD, Application of the Dozier retrieval to wildfire characterization: a sensitivity analysis, Remote Sensing of Environment, 2001;77: 34-49.

correctement les pixels MWIR/LWIR à supprimer de l'analyse. Ainsi, l'angle d'observation (c'est-à-dire l'angle de coélévation) doit être contraint pour éviter les erreurs de parallaxe excessives sur le masquage des nuages dues à l'altitude des nuages par rapport au sol. Une exigence d'angle de coélévation maximal de 30 degrés permet de réduire l'impact des erreurs de parallaxe sur le masquage des nuages. À un angle de vue de coélévation de 30 degrés, un simple calcul géométrique montre qu'un nuage à une altitude de 700 m est décalé d'une distance équivalente à la distance de champ de vision instantanée ciblée (400 m) lorsqu'il est projeté au sol, c'est-à-dire correspondant à une erreur de 1 pixel.

Enfin, l'instabilité temporelle de l'énergie des feux de forêt impose des contraintes sur l'acquisition coïncidente temporelle des bandes MWIR/LWIR en plus de l'enregistrement spatial. En effet, un chevauchement temporel est nécessaire pour que les signaux MWIR et LWIR tiennent correctement compte des fluctuations d'énergie des feux de forêt qui se produisent à grande et à petite échelles temporelles et spatiales. Cependant, étant donné que les microfluctuations de l'énergie émise par le front seront moyennées sur l'ensemble de la zone du pixel, les variations temporelles de l'énergie sont principalement dues à des changements dans le comportement du feu. Ainsi, des écarts temporels mineurs (par exemple, 5 à 10 secondes environ) entre les deux bandes peuvent être permis.

4.4.10. Latence des données

Les besoins en constante évolution en matière de réponse opérationnelle aux feux de forêt modifient l'espace de décision dans lequel les données deviennent très rapidement obsolètes. Johnston et al. (2020¹⁸) a fait une étude auprès des gestionnaires canadiens des incendies de forêt pour déterminer leurs besoins en matière de latence des données pour GardeFeu. Cette étude a montré qu'une latence de données de 30 minutes représentait un seuil pour les applications tactiques de surveillance des données, et qu'une latence de 2 heures rendait les données obsolètes pour les applications stratégiques (lesquelles ont besoin de recevoir les données dans un délai d'environ 1 heure pour permettre leur utilisation). De même, pour être utilisables dans le cadre des opérations, les données doivent être mises à disposition des utilisateurs finaux avant 18 h 00 et 7 h 00 (heure solaire locale) tous les jours pour respecter les cycles de prise de décision. La latence des données doit tenir compte de l'heure locale du survol et du traitement supplémentaire requis par les utilisateurs finaux partenaires pour transformer les produits de données scientifiques de Niveau 1b en produits de données scientifiques utilisables (Section 4.1).

Lors de la Phase 0, les latences de données classiques pour les produits de feu actif variaient de 1 heure à plus de 3 heures, limitant leur utilité dans la réponse opérationnelle de gestion des incendies (MNP, 2017¹⁹). Cette situation a radicalement changé et, depuis juin 2022, la NASA

¹⁸ Johnston JM, Jackson N, McFayden C, Ngo Phong L, Lawrence B, Davignon D, Wooster MJ, van Mierlo H, Thompson DK, Cantin AS, Johnston D, Johnston LM, Sloane M, Ramos R, Lynham TJ, Development of the User Requirements for the Canadian WildFireSat Satellite Mission, Sensors, 2020;20

¹⁹ MNP. A review of the 2016 Horse River Wildfire: Alberta Agriculture and Forestry Preparedness and Response. Edmonton, Alta., MNP LLP, 2017.

propose des produits de feu actif MODIS et VIIRS en moins de 60 secondes pour le Canada et les États-Unis²⁰. Cela soulève la question de la nécessité de mettre à jour la définition de « en quasi temps réel ». Néanmoins, à l'heure actuelle, l'objectif reste de fournir des données GardeFeu de Niveau 1b au COS en moins de 20 minutes, afin de répondre au besoin de latence de données de 30 minutes des utilisateurs finaux. Toutefois, la nécessité d'atteindre la plus faible latence possible pour la mission ne saurait être exagérée.

4.4.11. Champ de vision minimal

Pour détecter les incendies de forêt dans les images, il est important de disposer d'informations contextuelles précises sur les parties de la scène qui ne brûlent pas. Les pixels de fond qui ne sont pas masqués par les nuages sont d'une importance capitale pour les algorithmes contextuels automatisés de détection d'incendie (Roberts and Wooster, 2008²¹; Wooster et al., 2012²²; Schroeder et al., 2014²³; Giglio et al., 2016²⁴; Xu et al., 2020²⁵, par exemple). Il n'est pas possible d'indiquer une fauchée minimale explicite nécessaire pour satisfaire à cette exigence, car le diamètre des cibles présentant un risque d'incendie varie considérablement par rapport aux événements de sous-pixels, jusqu'à plus de 1 million d'hectares. Il n'existe toutefois aucun précédent d'automatisation d'un algorithme contextuel de détection d'incendie avec les bandes spectrales sur GardeFeu lors de l'utilisation d'une fauchée inférieure à 1400 km dans le cadre d'une mission opérationnelle (Sentinel-3, SLSTR). Notamment, le satellite TET-1 du German Aerospace Center (DLR) (fauchée de 178 km) a collecté des données expérimentales avec une fauchée inférieure au seuil minimal de 200 km pour le GardeFeu, bien qu'aucun produit automatisé de détection contextuelle d'incendie ne semble avoir été mis en œuvre.

Un précédent ne justifie pas nécessairement la demande d'une largeur de fauchée minimale pour GardeFeu. Toutefois, un certain nombre de considérations pratiques doivent également être mises en balance. En l'absence d'exigence en matière de fauchée minimale, il est possible d'envisager un scénario dans lequel un ensemble de charges utiles ou de picosatellites embarqués fournirait des données avec des angles de coélévation extrêmement étroits. Malgré ses bonnes intentions, un tel scénario empêcherait les utilisateurs finaux partenaires d'échantillonner les pixels de fond à partir du même boîtier de capteur (ce qui est essentiel à ce

²⁰ <https://www.earthdata.nasa.gov/news/feature-articles/firms-adds-ultra-real-time-data-from-modis-viirs> [seulement anglais].

²¹ Roberts G, Wooster MJ, Fire Detection and Fire Characterization Over Africa Using Meteosat SEVIRI, IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, 2008;46: 1200-18.

²² Wooster MJ, Xu W, Nightingale T, Sentinel-3 SLSTR active fire detection and FRP product: Pre-launch algorithm development and performance evaluation using MODIS and ASTER datasets, Remote Sensing of Environment, 2012;120: 236-54.

²³ Schroeder W, Oliva P, Giglio L, Csiszar IA, The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment, Remote Sensing of Environment, 2014;143: 85-96.

²⁴ Giglio L, Schroeder W, Justice CO, The Collection 6 MODIS Active Fire Detection Algorithm and Fire Products, Remote Sens Environ, 2016;178: 31-41.

²⁵ Weidong Xu, Martin J. Wooster, Jiangping He, Tianran Zhang, First study of Sentinel-3 SLSTR active fire detection and FRP retrieval: Night-time algorithm enhancements and global intercomparison to MODIS and VIIRS AF products, Remote Sensing of Environment, Volume 248, 2020: 111947.

niveau de traitement des données). De plus, l'étalonnage et le mosaïquage d'un nombre excessif d'ensembles de données seraient peu pratiques sur le plan logistique et informatique, et entraîneraient une augmentation substantielle de la latence des données. Il n'appartient pas aux utilisateurs finaux partenaires de déterminer le nombre optimal de charges utiles ou de plateformes nécessaires à la réalisation de la mission. Au contraire, les contraintes définies ici ne concernent que l'adéquation des données et les modalités pratiques de leur traitement efficace. Enfin, l'exigence d'une fauchée minimale de 200 km repose sur la probabilité de capturer un feu de grande importance dans une seule fauchée. En règle générale, les feux de forêt éloignés nécessitant une surveillance de routine deviennent très importants au fil du temps. La largeur de fauchée minimale est ici telle qu'un feu de 150 000 ha a 75 % de chances d'être capturé dans la bande s'il est parfaitement circulaire, et environ 50 % de chance d'être contenu dans les limites de la fauchée s'il est de forme allongée avec un rapport longueur/largeur de 2,5. Cette définition garantit également que dans la majorité des scénarios, le nombre de pixels de fond sera suffisant pour procéder à une analyse contextuelle (permettant les pertes dans les nuages et les feux adjacents).

5. EXIGENCES DE LA MISSION

La nomenclature des exigences de la mission GardeFeu se présente sous la forme suivante :
WFS-MRD-[CATEGORY]-[ID]

Où

- [CATEGORY] peut prendre les valeurs suivantes :
 - FUN pour les exigences fonctionnelles
 - OPE pour les exigences opérationnelles
 - CON pour les contraintes
- [ID] est un numéro de séquence correspondant à l'exigence pour la catégorie donnée.

Chaque exigence est présentée selon la structure suivante :

WFS-MRD-[CATEGORY]-[ID] Titre

Déclaration d'exigence.

Justification : Description de la justification de l'exigence.

La convention de formulation des énoncés d'exigences est la suivante :

- « DOIT » et « NE DOIT PAS » sont utilisés pour indiquer une exigence (obligatoire).
- « DEVRAIT » et « NE DEVRAIT PAS » indiquent un but ou une alternative privilégiée. Ces objectifs ou alternatives doivent être traités comme des exigences selon le principe des meilleurs efforts, et vérifiés comme pour les autres exigences. La performance réelle obtenue doit être incluse dans le rapport de vérification approprié, que l'objectif de performance ait été atteint ou non.
- « PEUT » et « PEUT NE PAS » indiquent une permission ou une option.
- L'utilisation du futur indique une déclaration de fait ou d'intention.

5.1 EXIGENCES FONCTIONNELLES ET EXIGENCES DE PERFORMANCES

5.1.1. Couverture

WFS-MRD-FUN-010 Couverture pendant la période de brûlage maximal

La mission DOIT permettre d'observer, chaque jour, entre 16 h 30 et 18 h 00, heure solaire locale :

- au moins 80 % de la Région A de la zone d'intérêt canadienne (telle que définie en D-1), et
- au moins 90 % de la Région B de la zone d'intérêt canadienne (telle que définie en D-1).

Justification : Cette exigence découle des besoins des utilisateurs et repose sur l'angle de coélévation maximal réel requis (WFS-MRD-FUN-030). La couverture de tous les points de la zone d'intérêt canadienne pendant la période de brûlage maximal dans les 24 heures est trop restrictive, compte tenu de la limitation de l'angle de

coélévation de WFS-MRD-FUN-030. L'exigence est donc exprimée en pourcentage de couverture quotidienne aisément réalisable compte tenu de WFS-MRD-FUN-030.

Cette exigence identifie explicitement une période de survol pour assurer un écart temporel suffisant par rapport aux données VIIRS, tout en permettant la livraison des données GardeFeu avant la prise de décision opérationnelle. Pour la surveillance du comportement du feu, l'heure d'observation optimale est au milieu de la période (vers 17 h 00, heure solaire locale). Un survol plus tôt réduirait l'écart temporel par rapport à VIIRS et, par conséquent, le nombre d'événements de propagation détectables, ce qui aurait des répercussions négatives sur les principaux produits de surveillance du comportement du feu de GardeFeu. Un survol plus tard pourrait avoir des conséquences négatives sur la livraison des données en temps voulu pour la prise de décision opérationnelle à 18 h 00, heure solaire locale (19 h 00, heure locale).

WFS-MRD-FUN-011 Couverture en dehors de la période de brûlage maximal

La mission DOIT permettre d'observer les mêmes régions que dans WFS-MRD-FUN-010, pendant le survol orbital réciproque, c'est-à-dire le matin.

Justification : L'observation au cours de la matinée présente également un intérêt dans les applications opérationnelles de gestion des feux de forêt. En tant que tels, les utilisateurs finaux partenaires ont l'intention d'utiliser les données collectées à l'heure locale du nœud ascendant (LTAN) et à l'heure locale du nœud descendant (LTDN) dans les applications du produit.

WFS-MRD-FUN-012 Couverture totale

La mission DOIT permettre d'observer 100 % de la zone d'intérêt canadienne pendant 3 périodes de brûlage maximal quotidiennes consécutives.

Justification : Sur la base des exigences relatives à l'angle de coélévation maximal réel (WFS-MRD-FUN-030). Des écarts dans la couverture de 24 heures étant attendus, l'orbite devrait être choisie de telle sorte que les écarts de couverture ne durent pas plus de 3 jours. Au Canada, la saison des incendies s'étend actuellement du 1er mars au 31 octobre. Toutefois, en raison des changements climatiques, cette période est appelée à évoluer. Le besoin de couverture en dehors de la saison des incendies est donc inférieur à ce qui est indiqué dans cette exigence.

WFS-MRD-FUN-013 Évolutivité de la couverture

La mission DOIT permettre de prendre des images toute l'année, au-dessus de la zone de végétation de la Terre. La définition exacte de cette zone peut être fournie sous demande.

Justification : En raison de l'intérêt international dont font l'objet les données sur les feux de forêt, il y a de fortes chances que la mission vise à répondre aux besoins des partenaires internationaux, ainsi qu'à des intérêts commerciaux. Toutefois, cette

exigence ne vise pas à orienter la conception en imposant une couverture spécifique tous les X jours, mais à permettre à la mission d'être utilisée pour prendre des images au-dessus de zones internationales couvertes de végétation dans toute la mesure du possible compte tenu des capacités du système. La couverture globale réalisable devrait être fournie comme preuve de conformité à cette exigence.

WFS-MRD-FUN-015 Supprimé

WFS-MRD-FUN-020 Supprimé

WFS-MRD-FUN-022 Temps d'observation constant pendant la période de brûlage maximal

La mission DOIT fournir les observations définies dans WFS-MRD-FUN-010 à la même heure de la journée, avec une variation maximale de 30 minutes de dérive pendant la durée de vie opérationnelle prévue de la mission.

Justification : La qualité du produit relatif au comportement du feu dépend largement du temps de survol de VIIRS, la différence de temps de survol entre la VIIRS et GardeFeu doit donc être stable. En outre, plusieurs algorithmes de Palier 1 sont sensibles aux variations de l'angle solaire.

WFS-MRD-FUN-030 Angle de coélévation maximal

L'angle de coélévation maximal (défini en D-4) pour chaque pixel de chaque instrument NE DOIT PAS dépasser 30 degrés pour que les observations soient considérées comme étant valides.

Justification : Voir la Section 4 pour une présentation des effets de l'angle de coélévation sur la qualité des données.

WFS-MRD-FUN-035 Supprimé

WFS-MRD-FUN-040 Champ de vision transversal minimal

Le champ de vision transversal effectif pour chacune des bandes spectrales définies dans WFS-MRD-FUN-060 DOIT être supérieur ou égal à 200 km.

Justification : Une largeur de fauchée minimale de 200 km est le minimum requis pour avoir 75 % de chance de capturer entièrement un feu elliptique de 150 000 hectares. Cette taille de feu est caractéristique d'un feu de grande importance nécessitant une surveillance de routine. Cette taille de fauchée permet de capturer le feu tout en incluant suffisamment de pixels de fond pour permettre une analyse contextuelle dans les algorithmes de détection et de caractérisation de feu actif. La Section 4 donne plus de détails. Noter qu'un champ de vision plus petit nécessiterait un assemblage d'images supplémentaire au sol afin de capturer la taille requise des incendies. Toute non-conformité à l'exigence de champ de vision transversal devrait être analysée de bout en bout avant de décider si elle peut être acceptée.

WFS-MRD-FUN-050 Chevauchement des bandes par le champ de vision

Les champs de vision de caméra pour toutes les bandes définies dans WFS-MRD-FUN-060 DOIVENT se chevaucher.

Justification : Les utilisateurs finaux partenaires exigent des données colocalisées depuis toutes les bandes décrites dans WFS-MRD-FUN-060 pour le traitement automatisé de l'extraction incendie.

5.1.2. Instrument**WFS-MRD-FUN-060 Bandes spectrales**

La charge utile DOIT permettre l'acquisition de données d'image de luminance énergétique dans chacun des domaines spectraux suivants :

- MWIR : Inclut une longueur d'onde de 3,9 μm et est aussi étroite que possible dans les limites :
 - Limite inférieure $\geq 3,4 \mu\text{m}$
 - Limite supérieure $\leq 4,15 \mu\text{m}$
- LWIR : une ou plusieurs bandes à l'intérieur des fenêtres atmosphériques de 8,2 – 9,2 μm et/ou 10,1 – 12,4 μm .
- Visible (VIS) : 0,57 - 0,73 μm (rouge), 0,37 - 0,53 μm (bleu), 0,47 - 0,63 μm (vert)
- Proche infrarouge (NIR) : 0,77 – 0,93 μm

Remarque : Voir WFS-MRD-FUN-070, WFS-MRD-FUN-071, WFS-MRD-FUN-072, WFS-MRD-FUN-073, WFS-MRD-FUN-074, WFS-MRD-FUN-075, WFS-MRD-FUN-076, WFS-MRD-FUN-077, WFS-MRD-FUN-078 et WFS-MRD-FUN-079 pour connaître les exigences détaillées en matière de réponse spectrale.

Justification : En fonction des besoins de l'utilisateur, en tenant compte de la révision des exigences en matière de bandes spectrales effectuées dans la Phase A. Les bandes LWIR sont nécessaires pour l'analyse radiométrique bispectrale 04, et doivent être supérieures à 8 μm pour assurer une séparation suffisante avec la bande MWIR. Toutefois, l'emplacement précis des bandes LWIR n'est pas prescrit ici, à condition qu'il soit limité à une fenêtre atmosphérique dans la plage définie. Un certain chevauchement des bandes VIS/NIR est acceptable pour l'application prévue. De plus, cela permet une plus grande souplesse d'utilisation des filtres disponibles sur le marché plutôt que d'avoir à développer des filtres sur mesure.

WFS-MRD-FUN-065 Supprimé**WFS-MRD-FUN-070 Réponse spectrale relative de la bande MWIR**

La réponse spectrale relative normalisée de la bande MWIR DOIT être comprise entre la limite supérieure et la limite inférieure définies dans le Tableau 5-1 et présentées dans la Figure 5-1.

Justification : En fonction des besoins de l'utilisateur pour tenir compte de la révision des exigences en matière de bandes spectrales de la Phase A.

TABEAU 5-1. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE MWIR

Longueur d'onde (μm)	Limite inférieure	Limite supérieure
3,30		0,0
3,35		0,0
3,40		0,2
3,45		0,6
3,50		0,8
3,55		1,0
3,7		1,0
3,75	0,0	1,0
3,80	0,0	1,0
3,85	0,6	1,0
3,90	0,8	1,0
3,95	0,6	1,0
4,00	0,0	1,0
4,05		1,0
4,10		0,8
4,15		0,2
4,20		0,0

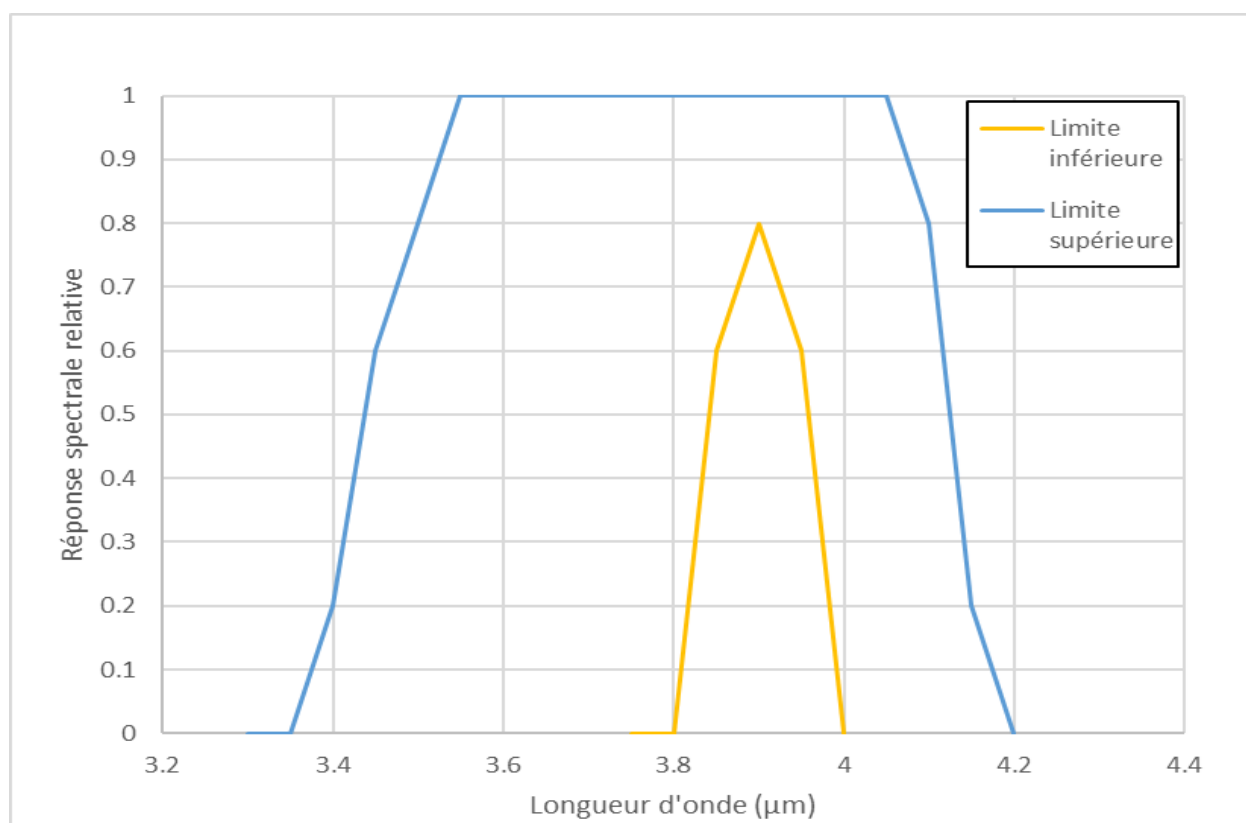


Figure 5-1. Limites de réponse spectrale relative de la bande MWIR.

WFS-MRD-FUN-071 Supprimé

WFS-MRD-FUN-072 Réponse hors bande MWIR

La contribution de la luminance énergétique hors bande de toutes les sources DOIT être inférieure à 50 % du niveau 1-sigma de la radiance équivalente au bruit.

La luminance énergétique hors bande est définie comme étant la luminance énergétique contenue dans le domaine spectral entre 1 et 50 μm, à l'exclusion de la partie de réponse spectrale MWIR spécifiée dans l'exigence WFS-MRD-FUN 070.

Justification : Spécification détaillée des caractéristiques de la bande.

WFS-MRD-FUN-073 Réponse spectrale relative de la bande LWIR

La réponse spectrale relative normalisée de la bande LWIR DOIT être dans la limite supérieure définie dans le Tableau 5 2 et présentée dans la Figure 5 2.

Justification : Une ou plusieurs bandes spectrales LWIR sont nécessaires pour collecter de manière fiable des mesures radiométriques de la température de la surface terrestre qui seront utilisées en appui de la bande MWIR pour la détection et la caractérisation des incendies et pour l'analyse radiométrique bispectrale d'événements à haute température sous-pixel. Le positionnement précis de cette ou ces bandes dans la gamme de longueurs d'onde spécifiée peut être optimisé au cours de la conception pour s'adapter à une gamme de conceptions optiques.

TABLEAU 5-2. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE LWIR

Longueur d'onde (μm)	Limite supérieure
8,15	0
8,2	0,2
8,25	0,4
8,3	0,6
8,35	0,8
8,4	1
8,45	1
8,5	1
8,55	1
8,6	1
8,65	1
8,7	1
8,75	1
8,8	1
8,85	1
8,9	1
8,95	1
9	1
9,05	0,8
9,1	0,6
9,15	0,4
9,2	0,2
9,25	0,0
10,05	0,0
10,1	0,2
10,15	0,4
10,2	0,6
10,25	0,8
10,3	1
10,35	1
10,4	1
10,45	1
10,5	1
10,55	1
10,6	1
10,65	1
10,7	1

Longueur d'onde (μm)	Limite supérieure
10,75	1
10,8	1
10,85	1
10,9	1
10,95	1
11	1
11,05	1
11,1	1
11,15	1
11,2	1
11,25	1
11,3	1
11,35	1
11,4	1
11,45	1
11,5	1
11,55	1
11,6	1
11,65	1
11,7	1
11,75	1
11,8	1
11,85	1
11,9	1
11,95	1
12	1
12,05	1
12,1	1
12,15	1
12,2	1
12,25	0,8
12,3	0,6
12,35	0,4
12,4	0,2
12,45	0,0

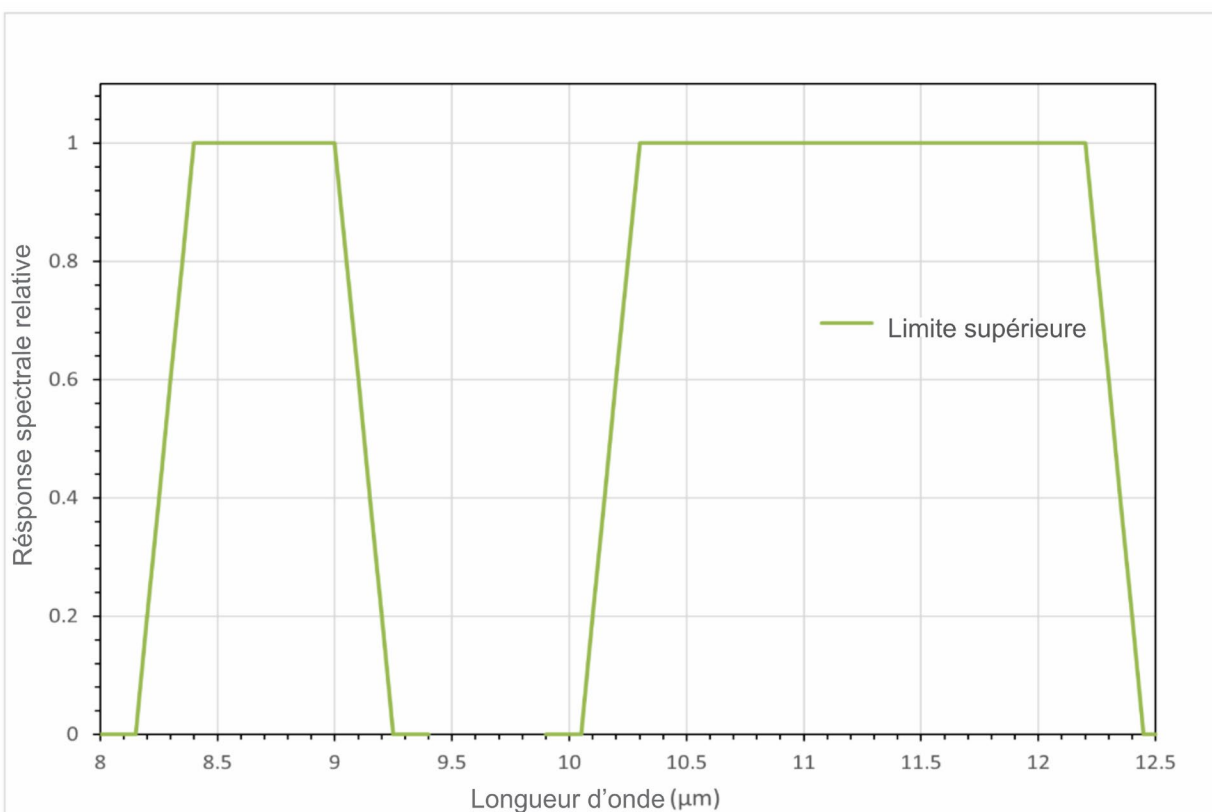


Figure 5-2. Limites de réponse spectrale relative de la bande LWIR.

WFS-MRD-FUN-074 Réponse hors bande LWIR

La contribution de la luminance énergétique hors bande de toutes les sources DOIT être inférieure à 50 % du niveau 1-sigma de la radiance équivalente au bruit.

La luminance énergétique hors bande est définie comme étant la luminance énergétique contenue dans le domaine spectral entre 1 et 50 μm , à l'exclusion de la partie de réponse spectrale de la bande LWIR spécifiée dans l'exigence WFS-MRD-FUN 073.

Justification : Spécification détaillée des caractéristiques de la bande.

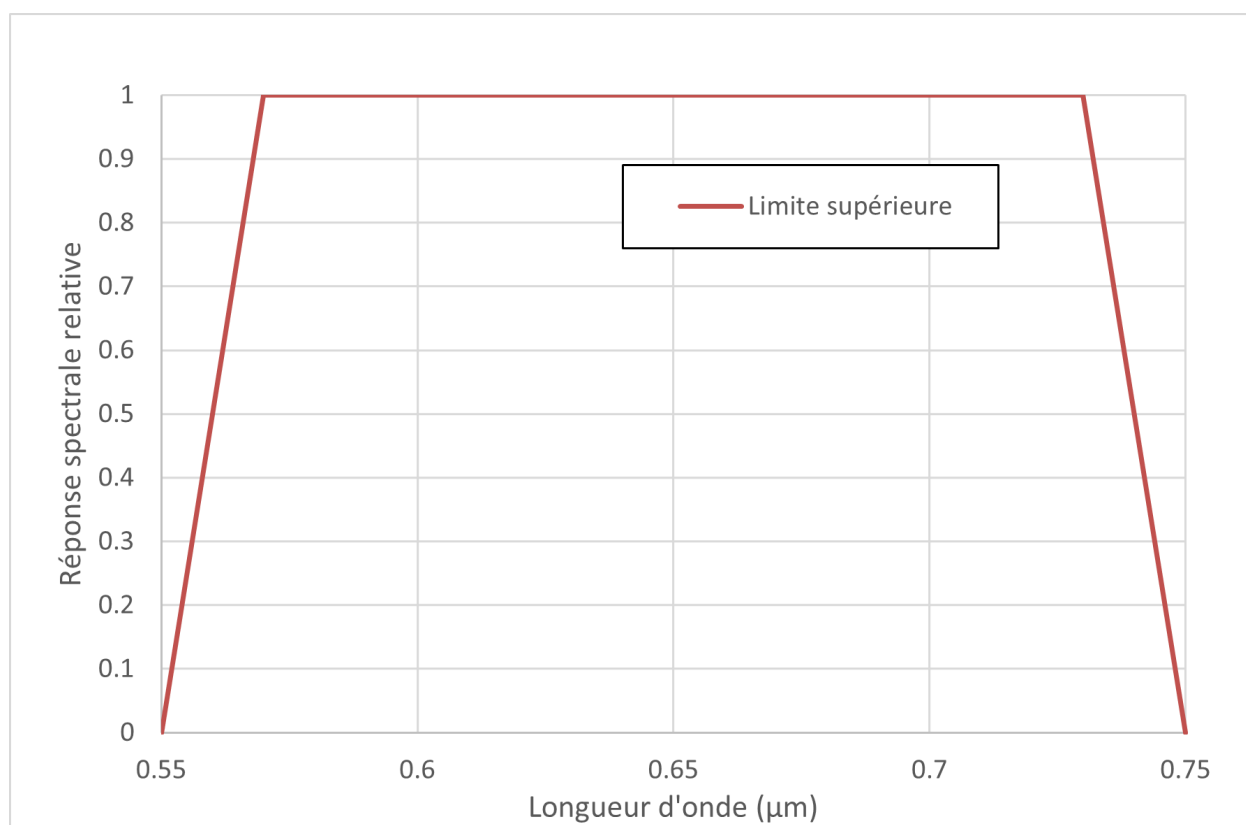
WFS-MRD-FUN-075 Réponse spectrale relative de la bande VIS (rouge)

La réponse spectrale relative normalisée de la bande VIS (rouge) DOIT être dans la limite supérieure du seuil définie dans le Tableau 5-3 et présentée dans la Figure 5-3.

Justification : Spécification détaillée des caractéristiques de la bande.

TABEAU 5-3. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE VIS (ROUGE)

Longueur d'onde (μm)	Limite supérieure
0,55	0,0
0,57	1,0
0,59	1,0
0,61	1,0
0,63	1,0
0,67	1,0
0,69	1,0
0,71	1,0
0,73	1,0
0,75	0,0

**Figure 5-3.** Limites de réponse spectrale relative VIS (rouge).

WFS-MRD-FUN-076 Réponse spectrale relative de la bande NIR

La réponse spectrale relative normalisée de la bande NIR DOIT être dans la limite supérieure du seuil définie dans le Tableau 5 4 et présentée dans la Figure 5-4.

Justification : Spécification détaillée des caractéristiques de la bande.

TABLEAU 5-4. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE NIR

Longueur d'onde (μm)	Limite supérieure
0,75	0,0
0,77	1,0
0,79	1,0
0,81	1,0
0,83	1,0
0,87	1,0
0,89	1,0
0,91	1,0
0,93	1,0
0,95	0,0

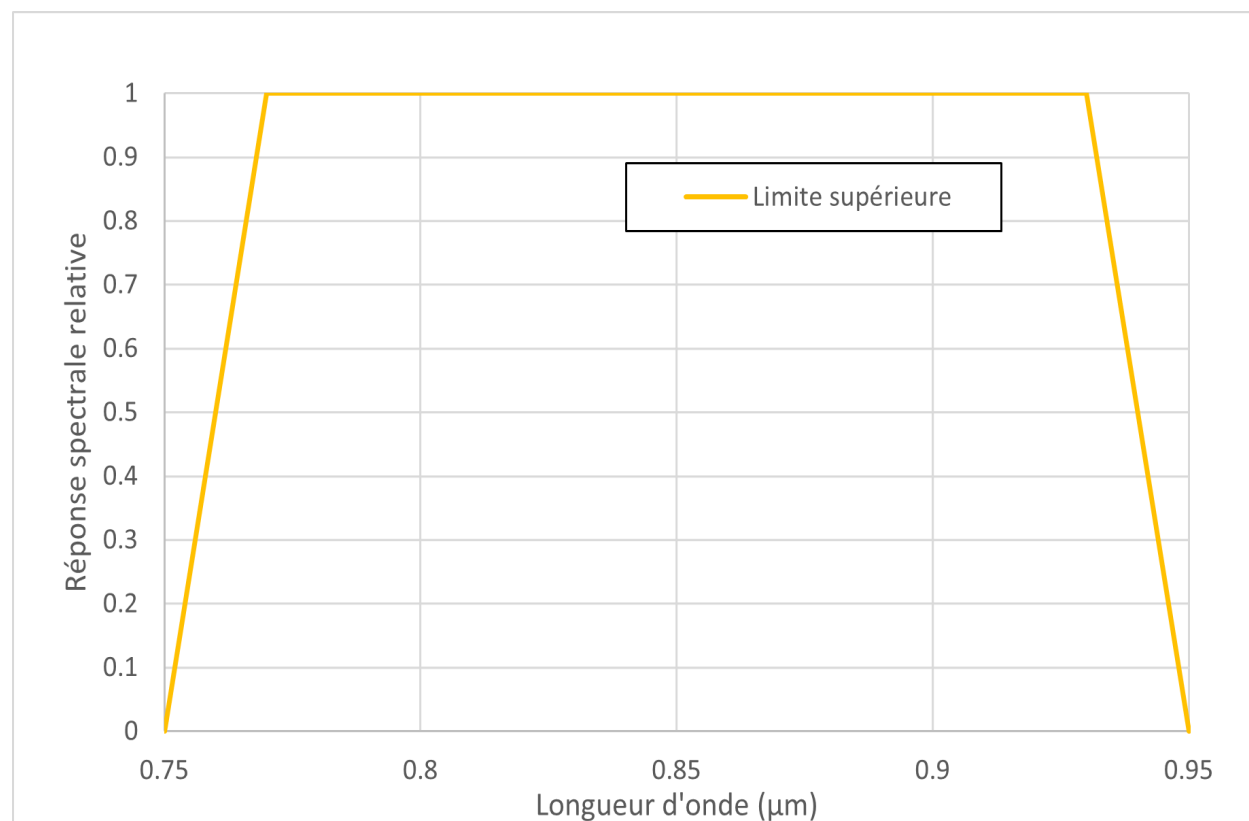


Figure 5-4. Limites de réponse spectrale relative de la bande NIR.

WFS-MRD-FUN-077 Réponse spectrale relative de la bande VIS (bleue)

La réponse spectrale relative normalisée de la bande VIS (bleue) DOIT être dans la limite supérieure du seuil définie dans le Tableau 5-5 et présentée dans la Figure 5-5.

Justification : Spécification détaillée des caractéristiques de la bande.

TABEAU 5-5. EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉPONSE SPECTRALE RELATIVE DE LA BANDE VIS (BLEUE)

Longueur d'onde (μm)	Limite supérieure
0,35	0,0
0,37	1,0
0,39	1,0
0,41	1,0
0,43	1,0
0,47	1,0
0,49	1,0
0,51	1,0
0,53	1,0
0,55	0,0

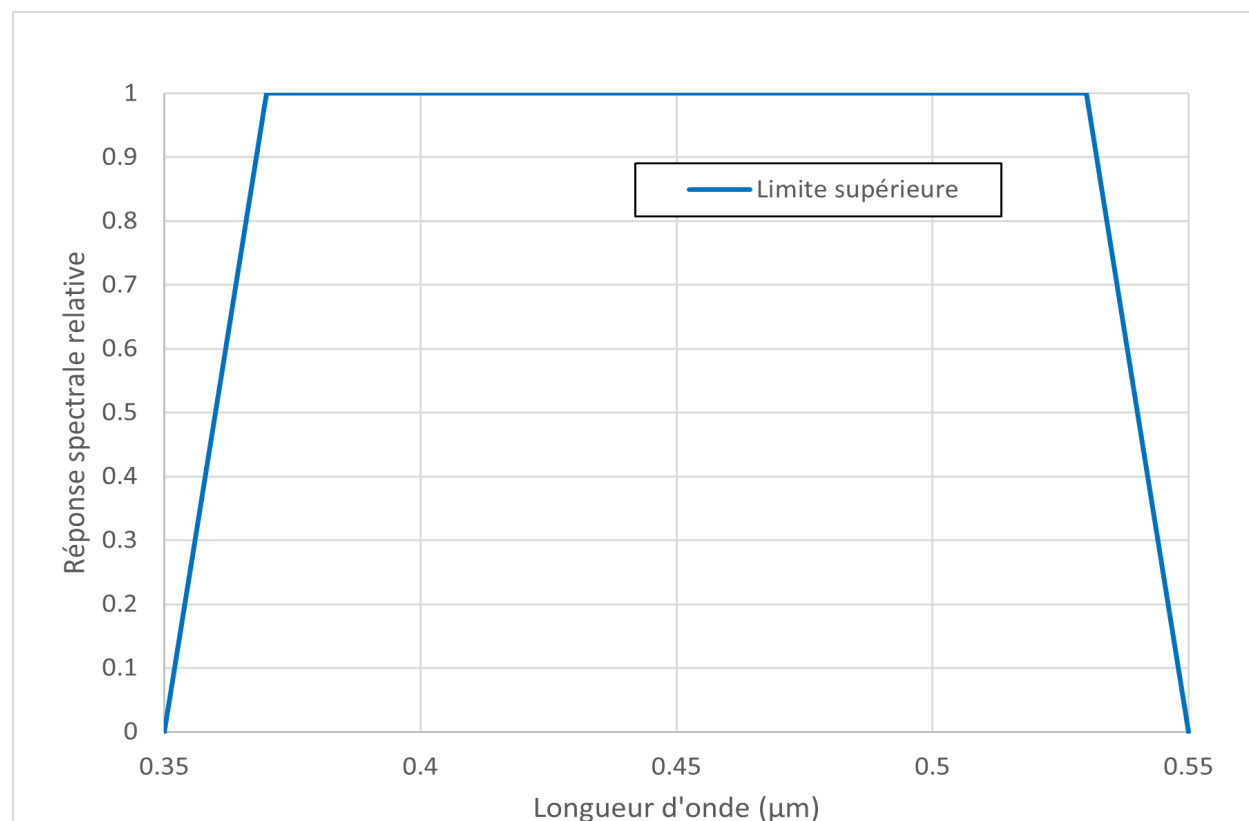


Figure 5-5. Limites de réponse spectrale relative de la bande vis (bleue).

WFS-MRD-FUN-078 Réponse spectrale relative de la bande VIS (verte)

La réponse spectrale relative normalisée de la bande VIS (verte) DOIT être dans la limite supérieure du seuil définie dans le Tableau 5-6 et présentée dans la Figure 5-6.

Justification : Spécification détaillée des caractéristiques de la bande.

TABLEAU 5-6. VIS (GREEN) RELATIVE SPECTRAL RESPONSE REQUIREMENTS

Longueur d'onde (µm)	Limite supérieure
0,45	0,0
0,47	1,0
0,49	1,0
0,51	1,0
0,53	1,0
0,57	1,0
0,59	1,0
0,61	1,0
0,63	1,0
0,65	0,0

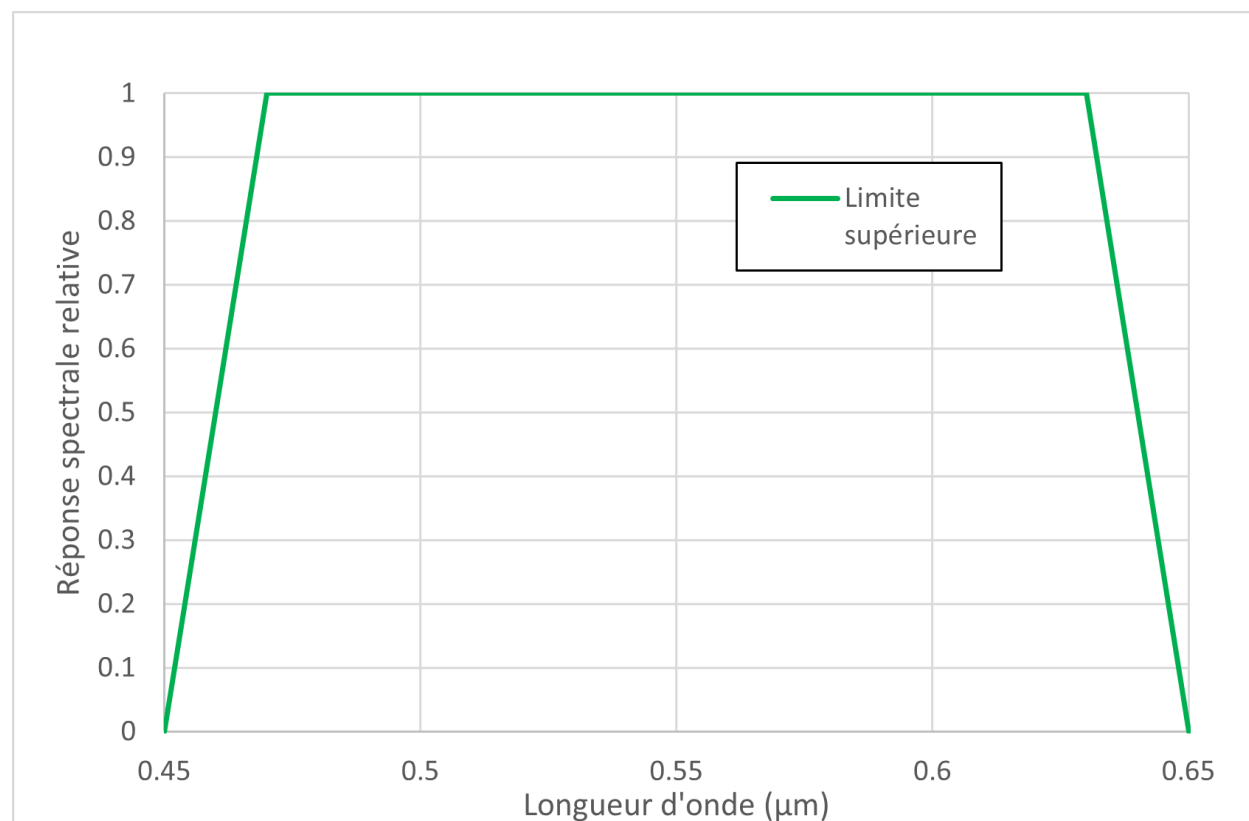


Figure 5-6. Limites de réponse spectrale relative VIS (verte).

WFS-MRD-FUN-079 Réponse hors bande VIS/NIR

La contribution de la luminance énergétique hors bande de toutes les sources DOIT être inférieure à 50 % du niveau 1-sigma de la radiance équivalente au bruit.

Note: Le domaine spectral hors bande VIS/NIR est l'ensemble de la plage comprise entre 0,1 μm et 3 μm , à l'exclusion des régions comprises dans les limites spécifiées dans les exigences WFS-MRD-FUN 076, WFS-MRD-FUN-077 et WFS-MRD-FUN-078.

Justification : Spécification détaillée des caractéristiques de la bande.

WFS-MRD-FUN-080 Supprimé**WFS-MRD-FUN-090 Plage dynamique de la bande MWIR et de la bande LWIR**

Les bandes MWIR et LWIR de l'imageur radiométrique DOIVENT être capables de mesurer, dans les limites de leurs plages étalonnées de manière radiométrique, des cibles dont les températures de luminance apparentes sont comprises entre au moins 275 K et jusqu'à la température apparente correspondant au scénario décrit dans la justification.

Remarque : Si la conception repose sur l'ajout de données à résolution spatiale plus fine pour obtenir le champ de visée instantané au sol final, cette exigence s'applique au plus petit élément d'échantillonnage du champ de visée instantané au sol contribuant au champ de visée instantané au sol fonctionnel, afin d'éviter la saturation du système.

Justification : La température de luminance maximale au niveau de la surface prend pour hypothèse qu'un pixel de capteur détecte un front de feu intense de manière à produire la température apparente maximale : le pixel est centré sur une ligne de feu diagonale de 50 m de profondeur de température 1100 K, suivie d'une zone de combustion lente de 50 m de profondeur avec une température de 400 K, comme indiqué dans la Figure 5-7. Ce scénario prend pour hypothèse une atmosphère sèche, correspondant à un facteur de transmission entre le sol et le satellite de 90 % dans les bandes MWIR et LWIR.

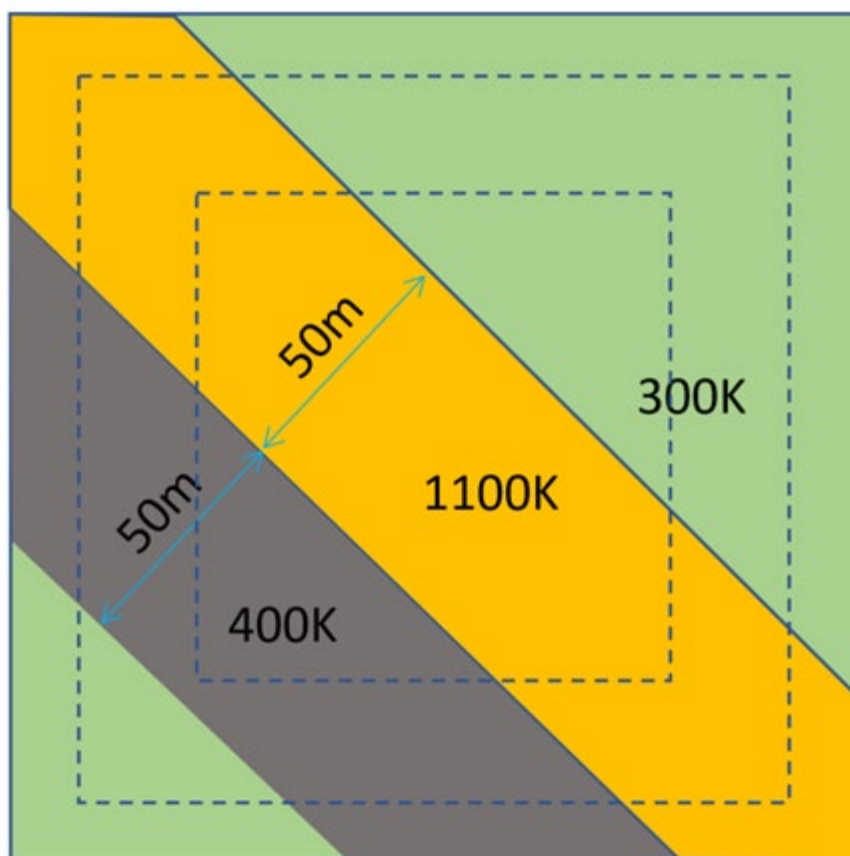


Figure 5-7. Scénario de front de feu intense.

WFS-MRD-FUN-095 Supprimé

WFS-MRD-FUN-100 Supprimé

WFS-MRD-FUN-105 Supprimé

WFS-MRD-FUN-110 Plage dynamique VIS/NIR

La plage dynamique du système d'imagerie radiométrique VIS et NIR DOIT couvrir au minimum les valeurs CSA suivantes :

- VIS 0,55 – 0,75 μm (rouge) : 0,66 - 235 $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$
- NIR 0,75 – 0,95 μm : 0,44-157 $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$
- VIS 0,35 – 0,55 μm (bleu) : 0,72-255 $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$
- VIS 0,45 – 0,65 μm (vert) : 0,72-255 $\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$

Justification : Voir la Section 4 pour de détails. Les niveaux de luminance énergétique maximaux correspondent à la lumière du soleil se reflétant sur les nuages à un angle zénithal du soleil faible (52°), et les niveaux minimaux correspondant à la lumière du soleil se reflétant sur une surface sombre au sol (cicatrice de brûlure) à un angle zénithal du soleil élevé (80°).

WFS-MRD-FUN-111 Supprimé**WFS-MRD-FUN-112 Capacité multispectrale**

La charge utile DOIT permettre une analyse multispectrale incluant toutes les bandes (MWIR, LWIR, VIS/NIR) pour 100 % des points au sol dans les limites de la fauchée.

Justification : Cette exigence vise à s'assurer du nombre suffisant de pixels exploitables pour observer toutes les cibles entrant dans les limites du champ de vision.

WFS-MRD-FUN-113 Plage dynamique ajustable VIS/NIR

La plage dynamique du système d'imagerie radiométrique VIS et NIR DOIT pouvoir être ajustée pendant l'utilisation opérationnelle.

Remarque : La plage de réglage minimale souhaitable sera définie par l'entrepreneur au cours de la phase B, en collaboration avec le SCF, et spécifiée dans les exigences relatives à la charge utile.

Justification : La plage dynamique optimale pour l'application de masquage des nuages présente actuellement une certaine incertitude. Par conséquent, il est nécessaire de prévoir un moyen d'ajuster la plage dynamique (en modifiant le gain du capteur et/ou le temps d'intégration, par exemple). De plus, le réglage de la plage dynamique VIS/NIR optimale peut varier en fonction de l'heure locale du survol.

WFS-MRD-FUN-115 Supprimé**WFS-MRD-FUN-116 Supprimé****WFS-MRD-FUN-117 Supprimé****WFS-MRD-FUN-120 Radiance spectrale équivalente au bruit de la bande MWIR**

Avant les corrections de bruit, la radiance spectrale équivalente au bruit moyenne de tous les pixels exploitables DOIT être inférieure à $0,15 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ dans la bande MWIR. La radiance spectrale équivalente au bruit pour un pixel est ici définie comme étant l'écart type 1-sigma de la luminance énergétique mesurée sur une période de 1 seconde.

Justification : Le seuil de radiance spectrale équivalente au bruit correspond à une résolution thermique de mesure (NETD) de 7 K à une température de 300 K dans la bande MWIR, avant l'application des corrections de bruit. Il s'agit de la résolution thermique de mesure maximale qui permettra, une fois les corrections de bruit TDI appliquées pour réduire la résolution thermique de mesure effective, de faire la différence entre différentes caractéristiques à grande échelle au sol (forêt, lacs, par exemple).

WFS-MRD-FUN-125 Supprimé

WFS-MRD-FUN-121 Radiance spectrale équivalente au bruit de la bande LWI

Avant les corrections de bruit, la radiance spectrale équivalente au bruit moyenne de tous les pixels exploitables DOIT être inférieure à $0,04 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ dans la bande LWIR. La radiance spectrale équivalente au bruit pour un pixel est ici définie comme étant l'écart type 1-sigma de la luminance énergétique mesurée sur une période de 1 seconde.

Justification : L'exigence de radiance spectrale de $0,04 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ correspond à un NETD à la CSA de 0,3 K à une température de 300 K dans la bande LWIR, telle que calculée à l'aide de la loi des corps noirs de Planck. Il s'agit du NETD maximal qui permettra, une fois la réduction du bruit TDI appliquée, de donner des informations contextuelles relatives à la scène selon la précision souhaitée de 0,1 K. Voir la Section 4 pour plus de détails.

WFS-MRD-FUN-127 Supprimé**WFS-MRD-FUN-129 Supprimé****WFS-MRD-FUN-130 Bruit VIS/NIR**

Avant les corrections de bruit, le rapport signal sur bruit (SNR) DOIT être supérieur à 20 aux niveaux suivants de luminance énergétique CSA de référence à faible éclairage :

- Bande bleue : $3,6 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$
- Bande verte : $3,6 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$
- Bande rouge : $3,3 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$
- Bande NIR : $2,2 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$

Justification : Voir la Section 4 pour plus de détails sur la justification. Ces niveaux de rapport signal sur bruit sont destinés à assurer une détection adéquate des cicatrices de brûlure dans des conditions de faible éclairage.

WFS-MRD-FUN-135 Supprimé**WFS-MRD-FUN-140 Exactitude de mesure de la luminance énergétique de la bande MWIR**

La mesure absolue de la luminance énergétique à la CSA, dans le cadre des observations réalisées dans la bande MWIR dans les limites de la plage de températures de 400 K jusqu'à la température de saturation implicite indiquée dans WFS-MRD-FUN-090, DOIT être exacte à moins de $\pm 5 \%$ d'erreur. Il s'agit de la valeur moyenne pour tous les pixels exploitables.

Justification : Voir la Section 4. Il s'agit de la plus grande incertitude de mesure de luminance énergétique admise pour atteindre une erreur d'exactitude de mesure de la PRF à l'intérieur de $\pm 15 \%$, compte tenu de tous les éléments participant à l'incertitude de mesure de la PRF (les corrections atmosphériques, par exemple).

WFS-MRD-FUN-150 Exactitude de mesure de la luminance énergétique de la bande LWIR

La mesure absolue de la luminance énergétique à la CSA, dans le cadre des observations réalisées dans la bande LWIR dans les limites de la plage de températures de 280 K jusqu'à la température de saturation implicite indiquée dans WFS-MRD-FUN-090, DOIT être exacte à moins de $\pm 5\%$ d'erreur. Il s'agit de la valeur moyenne pour tous les pixels exploitables.

Justification : Voir la Section 4. Il s'agit de la plus grande incertitude de mesure de luminance énergétique admise pour atteindre une erreur d'exactitude de mesure de la PRF à l'intérieur de $\pm 15\%$, compte tenu de tous les éléments participant à l'incertitude de mesure de la PRF (les corrections atmosphériques, par exemple).

WFS-MRD-FUN-160 Exactitude de mesure de la luminance énergétique VIS/NIR

La mesure de la luminance énergétique DOIT être exacte à moins de $\pm 10\%$ d'erreur pour les bandes VIS/NIR.

Justification : Pour atteindre ses objectifs de mission, l'instrument VIS/NIR fournira des luminances énergétiques étalonnées, afin de caractériser les principaux types de couvertures terrestres, en particulier les types et l'état de la végétation et la densité. Le capteur a également pour tâche de distinguer les fausses alarmes (les reflets du soleil, par exemple) et de fournir une image utile pour le géoréférencement des points chauds dans les images infrarouges. L'exactitude absolue de l'étalonnage radiométrique définie ci-dessus satisfait à ces exigences. Une telle exactitude est typique de ce type de capteur.

5.1.3. Pointage**WFS-MRD-FUN-170 Maniabilité du pointage**

La mission DOIT permettre d'observer au moins une zone cible hors nadir fournie par l'utilisateur (40 degrés maximum hors nadir) par survol de la zone d'intérêt canadienne.

Justification : La capacité à cibler des zones d'événements est souhaitable dans le cadre d'opérations d'étalonnage et de validation, et dans certains scénarios extrêmes de gestion de catastrophes. Les manœuvres de pointage entraîneront une perte de couverture et des périodes de revisite prolongées dans d'autres zones, de sorte que cette capacité ne sera pas régulièrement utilisée ni ne pourra être considérée comme une approche permettant de satisfaire aux exigences de couverture. La maniabilité est limitée à moins de 40 degrés hors nadir, car au-delà de ce point, la mesure du feu aura une valeur limitée en raison de la faible transmittance atmosphérique et de la qualité d'image dégradée.

WFS-MRD-FUN-171 Pointage vers l'espace lointain

La mission DOIT permettre d'observer une zone d'espace lointain définie par l'utilisateur sur l'ensemble du champ de vision des imageurs.

Justification : La capacité de pointer vers l'espace lointain est exigée pour les opérations d'étalonnage et de validation. Les manœuvres de pointage entraîneront une perte

de couverture, de sorte que cette capacité ne sera pas régulièrement utilisée ni ne pourra être considérée comme une approche permettant de satisfaire aux exigences de couverture.

WFS-MRD-FUN-180 Exactitude du pointage

L'exactitude absolue de pointage de la caméra (tous axes confondus) de l'instrument DOIT être supérieure à 0,5 degré (2σ / 95 % de confiance) pour chaque bande spectrale définie dans WFS-MRD-FUN-060.

L'exactitude absolue du pointage est interprétée comme étant la différence angulaire entre la direction commandée de la caméra et la direction réelle de la caméra.

Justification : Il s'agit de s'assurer que le capteur observe effectivement les feux détectés (feux ciblés) et que les caractéristiques thermiques et d'intensité peuvent être récupérées dans et autour de la zone de brûlage détectée. L'exactitude de pointage requise autour de chaque axe dépend de différents facteurs. Par exemple, le tangage est déterminé par la vitesse au sol et la taille des pixels, le roulis est déterminé par la taille des pixels et garantit la reproduction du feu cible sur l'image, le mouvement de lacet est déterminé par l'exigence de géolocalisation, la largeur de fauchée de l'instrument et la vitesse au sol. La répartition par axe sera effectuée dans le cadre de la définition des exigences du système.

WFS-MRD-FUN-181 Supprimé

WFS-MRD-FUN-185 Supprimé

WFS-MRD-FUN-190 Supprimé

WFS-MRD-FUN-200 Supprimé

5.1.4. Qualité d'image

WFS-MRD-FUN-210 Champ de visée instantané au sol à pointage nadiral

Si la caméra est à pointage nadiral, sa conception DOIT permettre de donner des images dont le champ de visée instantané au sol ne dépasse pas 400 m (LWIR, MWIR) et 200 m (NIR, VIS) pour tous les pixels à un angle de coélévation inférieur à 30 degrés.

Justification : En fonction des besoins de l'utilisateur, avec des clarifications supplémentaires sur l'interprétation de la résolution. La Section 4 donne plus de détails.

WFS-MRD-FUN-211 Supprimé

WFS-MRD-FUN-215 Résolution spatiale à pointage nadiral MWIR et LWIR

Pour les caméras MWIR et LWIR à pointage nadiral, la mission DOIT fournir des images dont la résolution spatiale est suffisante. Plus précisément, pour tous les pixels, au moins 75 % de l'énergie encadrée d'une source ponctuelle parfaitement centrée dans le champ de visée instantané au sol d'un pixel donné sera collectée sur ce pixel.

Cette exigence de résolution spatiale vise à englober toutes ses contributions potentielles, y compris, mais sans s'y limiter : les aberrations optiques, le flou de mouvement dû au temps de réponse fini des capteurs, la diaphonie des pixels (thermique et électronique) et la gigue de la caméra

Justification : Les produits de feu actif MODIS sont sans doute les algorithmes les mieux étudiés dans le domaine de la surveillance active des feux. Bien que fiables à bien des égards, les produits de feu MODIS sont confrontés à des problèmes connus liés à l'utilisation de l'analyse bispectrale sous-pixel d'un incendie (RD-07, RD-08, par exemple). La technique bispectrale utilisée (RD-09) est réputée sensible à l'acquisition coïncidente entre bandes et à la mesure dans laquelle est capturée l'énergie des échantillons MWIR et LWIR émise à partir d'emplacements au sol identiques. Dans la définition de l'exigence d'énergie encadrée, la performance de MODIS (EE = environ 0,75 ; RD-10) est considérée comme une base qui doit être dépassée afin d'obtenir une analyse bispectrale similaire ou meilleure avec GardeFeu.

WFS-MRD-FUN-220 Supprimé**WFS-MRD-FUN-225 Supprimé****WFS-MRD-FUN-227 Équivalence de champ de visée instantané au sol (GIFOV) de la bande MWIR et la bande LWIR**

Le champ de visée instantané au sol (GIFOV) de la bande LWIR DOIT être égal à celui de la bande MWIR avec une tolérance de 2 % dans le champ de vision de la caméra pour chaque bande.

Cette exigence a pour objet de s'assurer que les caméras MWIR et LWIR ont la même distance focale, qu'elles présentent une faible distorsion optique et que leurs axes optiques sont bien alignés.

Justification : Il est nécessaire que l'énergie collectée pour un pixel donné dans chacune des bandes MWIR et LWIR corresponde à la même région au sol dans les limites de tolérances raisonnables. L'utilisation de valeurs de champ de visée instantané au sol (GIFOV) différentes dans les observations MWIR et LWIR réduirait l'exactitude de la mesure bispectrale des feux, par exemple en utilisant la méthode Dozier pour déduire la taille des feux.

WFS-MRD-FUN-228 Uniformité du champ de visée instantané au sol

Le champ de visée instantané au sol (GIFOV) de tous les pixels dans les bandes MWIR et LWIR DOIT être égal, avec une différence maximale de 20 %.

Justification: Afin de produire des produits destinés à l'utilisation opérationnelle en quasi temps réel, des performances constantes sont requises sur toute la fauchée en termes de sensibilité de détection, d'exactitude de la PRF et de délimitation du front de flamme. La contrainte imposée ici garantit l'absence de différence excessive quant aux performances du produit sur l'ensemble de la fauchée. La sensibilité de détection des sous-pixels subira l'impact le plus prononcé des variations du champ de visée instantané au sol. De plus, l'uniformité du champ de visée instantané au sol dans la direction longitudinale est importante pour assurer l'exactitude de la moyenne TDI et la fidélité des extractions de séries chronologiques EHT.

WFS-MRD-FUN-230 Exactitude de cartographie de champ de vision dans les bandes MWIR et LWIR

La cartographie de champ de vision (FOV) des pixels des bandes MWIR et LWIR DOIT être connue et présentée avec une exactitude à l'intérieur de $\pm 15\%$ du GIFOV d'erreur, pour tous les pixels de chacune des bandes.

Il s'agit de s'assurer que les coordonnées angulaires longitudinales et transversales du champ de vision de tous les pixels, par rapport à l'axe optique commun de la charge utile, sont (1) cartographiées avec précision avant le lancement (pour tenir compte de la distorsion optique, par exemple) et (2) que les caméras et la charge utile sont conçues de manière à préserver cette cartographie une fois en orbite (en réduisant le plus possible les distorsions optiques potentielles induites par la chaleur, ainsi que le désalignement de la caméra induit par les vibrations liées au lancement, par exemple).

Justification : Cette exactitude de cartographie du champ de vision est l'exigence minimale permettant d'avoir une connaissance suffisante de l'acquisition coïncidente entre les pixels MWIR et LWIR correspondants, afin d'appliquer la méthode bispectrale de Dozier selon une exactitude acceptable, compte tenu de l'exigence de résolution spatiale.

WFS-MRD-FUN-235 Supprimé

WFS-MRD-FUN-236 Supprimé

WFS-MRD-FUN-237 Supprimé

WFS-MRD-FUN-240 Exactitude de cartographie du champ de vision VIS/NIR

La cartographie du champ de vision des pixels de la bande VIS/NIR DOIT être connue et fournie dans les limites de l'exactitude du champ de visée instantané au sol VIS/NIR pour tous les pixels dans chacune des bandes.

Remarque : Il s'agit de s'assurer que les coordonnées angulaires longitudinales et transversales du champ de vision de tous les pixels VIS/NIR, par rapport à l'axe optique commun de la charge utile, sont (1) cartographiées avec précision avant le lancement (pour tenir compte de la distorsion optique, par exemple) et (2) que les caméras et la charge utile sont conçues de manière à préserver cette cartographie une fois en orbite (en réduisant le plus possible les distorsions optiques potentielles induites par la chaleur, ainsi que le désalignement de la caméra induit par les vibrations liées au lancement, par exemple).

Justification : En fonction des besoins de l'utilisateur. Cette exigence est nécessaire pour assurer l'exactitude des informations contextuelles VIS/NIR sur les images MWIR et LWIR.

WFS-MRD-FUN-241 Supprimé

WFS-MRD-FUN-242 Supprimé

WFS-MRD-FUN-245 Supprimé

WFS-MRD-FUN-246 Supprimé

WFS-MRD-FUN-247 Supprimé

WFS-MRD-FUN-250 Supprimé

WFS-MRD-FUN-251 Supprimé

WFS-MRD-FUN-252 Exactitude d'acquisition coïncidente temporelle dans les bandes MWIR et LWIR

L'écart temporel (intervalle de temps aveugle entre les séries temporelles EHT des bandes MWIR et LWIR DOIT être de moins de 6 secondes.

Justification : Les données MWIR et LWIR sont combinées pour produire des données de sortie pour la mission GardeFeu. Le feu ayant des propriétés dynamiques, un retard d'échantillonnage important entre les bandes entraînera un décalage des conditions. Dans l'idéal, les deux bandes échantillonneront la même zone en même temps (même si les pixels nécessitent une correction spatiale) pour réduire le plus possible les erreurs.

WFS-MRD-FUN-253 Supprimé

WFS-MRD-FUN-255 Angle de prise de vue longitudinal

L'écart total de l'angle de prise de vue longitudinal des bandes spectrales NE DOIT PAS dépasser 10 degrés. Il s'agit de l'angle maximal entre la bande dirigée le plus vers l'arrière et la bande dirigée le plus vers l'avant.

Justification : Les produits de données finaux sont générés en traitant les données brutes provenant de plusieurs bandes. Une variation importante de l'angle de prise de vue introduit des erreurs dues à des formes de pixels différentes, et des distorsions causées par des éléments séparés verticalement (panaches de fumée et des nuages, etc.).

WFS-MRD-FUN-260 Supprimé**WFS-MRD-FUN-270 Fonction de transfert de modulation (FTM)**

La fonction de transfert de modulation (FTM) de la caméra DOIT être supérieure à 0,3 pour toutes les fréquences inférieures à la fréquence de Nyquist.

Justification : En fonction des besoins de l'utilisateur.

WFS-MRD-FUN-280 Intégration temporisée (TDI)

Les imageurs MWIR et LWIR DOIVENT disposer d'une fonction intégrée permettant l'intégration temporisée pendant une période d'observation correspondant à au moins 40 images continues.

Justification : La TDI permet d'augmenter la sensibilité et de réduire les effets de crénelage des EHT sous-pixels qui, autrement, compromettraient la capacité de détecter les EHT de faible importance en réduisant les faux positifs et de mesurer avec précision les luminances énergétiques.

Dans le contexte de GardeFeu, l'expression « Intégration temporisée » a un sens plus vaste que sa définition habituelle dans le contexte des capteurs photoélectriques à couplage de charge (DCC), qui réfère au déplacement des photoélectrons pour compenser le mouvement des objets. En effet, dans le contexte des capteurs thermiques comme les microbolomètres, la TDI correspond à la co-addition post-acquisition des pixels de plusieurs trames d'image prises du même objet au sol. Sur la base des mesures effectuées avec le capteur microbolométrique en Phase A, la réduction du bruit lors de l'exécution de la TDI sur plus de 40 images présente un avantage limité.

WFS-MRD-FUN-290 Seuil EHT

L'imageur MWIR DOIT avoir la capacité de détecter la présence d'EHT, en déterminant le seuil des signaux d'image au-dessus d'une valeur spécifiée par l'utilisateur.

Justification : Les EHT sont réputés avoir des signatures temporelles distinctives. La série temporelle d'EHT acquise lors d'un survol permettra de rejeter les faux positifs et de mieux caractériser le type d'EHT (feux actifs, zone de combustion lente, volcans).

WFS-MRD-FUN-295 Signatures temporelles d'EHT

Les signaux de d'EHT LWIR et MWIR géolocalisés correspondants, pendant une période d'au moins 3 secondes, DOIVENT être enregistrés de façon distincte (p. ex., en tant que métadonnées) avec les coordonnées de pixel EHT, pour que le COS puisse effectuer l'analyse des événements haute température (EHT).

Justification : Les EHT sont réputés avoir des signatures temporelles distinctives. La série temporelle d'EHT acquise lors d'un survol permettra de rejeter les faux positifs et de mieux caractériser le type d'EHT (feux actifs, zone de combustion lente, volcans). De plus, les signatures temporelles fournissent des informations utiles sur le passage des HTE de dimensions sous-pixel à travers la FEP du capteur.

WFS-MRD-FUN-300 Supprimé**WFS-MRD-FUN-310 Correction d'uniformité d'image des bandes LWIR et MWIR**

La charge utile thermique DOIT fournir un moyen de procéder à une correction régulière de l'uniformité d'image, afin que les artefacts d'image potentiels liés à la dérive thermique soient inférieurs à 1 K pour une scène uniforme à 280 K ou à la radiance spectrale équivalente au bruit du pixel, selon la valeur la plus faible.

Justification : Voir la discussion sur la précision des mesures dans la Section 4.

5.2 EXIGENCES OPÉRATIONNELLES**5.2.1. Traitement des produits de données****WFS-MRD-OPE-010 Supprimé****WFS-MRD-OPE-020 Production de données de Niveau 1b**

La mission DOIT générer, dans le cadre de son segment sol, des produits de données scientifiques de Niveau 1b à partir de données reçues du segment spatial et, à la demande du COS, à partir de données archivées.

Justification : Le segment utilisateurs peut uniquement manipuler les données de Niveau 1b et supérieur.

WFS-MRD-OPE-025 Stockage intégré des données de signal de scène

La mission DOIT avoir pouvoir acquérir, sur commande au sol, au moins 30 secondes de données de signal de scène (c'est-à-dire non traitées) et les données auxiliaires associées, sans interrompre le traitement embarqué des données, et les stocker à bord de l'engin spatial jusqu'à ce que la liaison descendante soit disponible sur commande ou en même temps que la liaison descendante vers le sol.

Justification : Les données de signal de scène sont nécessaires pour les besoins des recherches et les besoins opérationnels (résolution d'anomalies et développement d'algorithmes, par exemple). Il est nécessaire de disposer simultanément de données traitées et non traitées pour vérifier l'intégrité des données traitées à bord.

WFS-MRD-OPE-026 Transmission en liaison descendante des données stockées à bord sur commande

La mission DOIT avoir la capacité, sur commande au sol, de transmettre en liaison descendante des parties sélectionnées par l'utilisateur de données scientifiques stockées à bord de l'engin spatial, y compris le signal de scène et les données, à toutes les étapes de la chaîne de traitement des données à bord jusqu'aux données brutes.

Remarque : Ce besoin n'est pas assujéti aux exigences en matière de latence de WFS-MRD-OPE-090.

Justification : Principalement pour les besoins de l'étalonnage, de la validation et du soutien à l'enquête sur les anomalies liées à la charge utile.

WFS-MRD-OPE-030 Supprimé**WFS-MRD-OPE-040 Archivage**

Le segment sol DOIT archiver tous les produits de données scientifiques de Niveau 0 et de Niveau 1b reçus et générés pour pouvoir les récupérer ultérieurement.

Justification : L'archivage de Niveau 0 et de Niveau 1b permet aux utilisateurs finaux, aux utilisateurs finaux partenaires et aux utilisateurs finaux externes d'accéder aux données historiques pour diverses applications, et de satisfaire aux exigences de la Loi sur les systèmes de télédétection spatiale en matière d'archivage.

WFS-MRD-OPE-041 Supprimé**WFS-MRD-OPE-050 Supprimé****WFS-MRD-OPE-060 Géoréférencement**

Les produits de données scientifiques générés par la mission DOIVENT être étiquetés avec des informations de géoréférencement précises dans les limites de 0,5 multiplié par le champ de visée instantané au sol (GIFOV) de la bande MWIR (2σ / 95 % de confiance).

Justification : En fonction des besoins de l'utilisateur. L'exactitude du géoréférencement est interprétée comme étant la distance linéaire entre la position réelle au sol et la position géoréférencée du centre d'un pixel.

WFS-MRD-OPE-061 Supprimé**WFS-MRD-OPE-070 Supprimé****WFS-MRD-OPE-080 Supprimé**

WFS-MRD-OPE-090 Latence des données

La mission DOIT fournir des données de Niveau 1b au COS dans les 20 minutes qui suivent l'acquisition de l'image correspondant à l'observation effectuée dans la zone d'intérêt canadienne et dans les masques de stations au sol canadiennes.

Justification : Il s'agit pour les utilisateurs finaux d'obtenir leurs données dans les 30 minutes qui suivent l'acquisition. Ce délai a été clairement établi lors de la consultation comme étant essentiel pour que les produits aient une valeur lors de prise de décision tactique et stratégique en matière de gestion des incendies. Le COS dispose de 10 minutes pour faire en sorte que les données de Niveau 1b puissent être utilisées par les utilisateurs finaux. Il est entendu que le délai de 20 minutes ne peut être respecté que si le satellite est en vue d'une station au sol canadienne. L'exigence exclut également les opérations non nominales.

WFS-MRD-OPE-092 Supprimé**WFS-MRD-OPE-095 Supprimé****WFS-MRD-OPE-097 Capacité de stockage des données d'image**

La mission DOIT prévoir une capacité de mémoire suffisante à bord de l'engin spatial pour stocker les données scientifiques acquises sur au moins deux orbites, dans des conditions d'imagerie normales, y compris l'imagerie en dehors de la zone d'intérêt canadienne et les demandes de tâches d'imagerie spéciales.

Justification : L'engin spatial a besoin d'un espace de stockage au cas où aucune antenne ne serait disponible pour transmettre en liaison descendante les données acquises et assurer une imagerie continue de la zone d'intérêt canadienne. La transmission en liaison descendante peut devenir indisponible si des activités liées à l'imagerie se déroulent à l'extérieur de la masse terrestre canadienne ou en cas d'indisponibilité temporaire du segment sol.

WFS-MRD-OPE-100 Supprimé**WFS-MRD-OPE-110 Supprimé****WFS-MRD-OPE-115 Supprimé****5.2.2. Durée de la mission, disponibilité et fiabilité****WFS-MRD-OPE-120 Durée de mission**

La mission DOIT avoir une durée de vie opérationnelle de 5 ans, après la mise en service, mais avec suffisamment de produits consommables pour au moins 7 ans. La durée de vie opérationnelle est définie comme étant la durée pendant laquelle toutes les exigences de la mission sont satisfaites, sauf indication contraire, y compris le maintien de l'équilibre thermique de la charge utile tout au long de la mission pour satisfaire à ses exigences de performances.

Justification : La mission a été approuvée pour une durée de vie opérationnelle de 5 ans. Il est pratique courante de prévoir une quantité plus importante de consommables que celle correspondant à la durée de vie de la mission, au cas où la mission durerait

plus longtemps. Dans cette exigence, le consommable concerne le propulseur. La quantité de consommables nécessaire comprend la quantité nécessaire pour atteindre l'orbite, effectuer la mission conformément aux exigences de la mission et désorbiter en toute sécurité.

WFS-MRD-OPE-130 Supprimé

WFS-MRD-OPE-135 Supprimé

WFS-MRD-OPE-136 Disponibilité du segment spatial

Le segment spatial (hors lanceur) DOIT être disponible au moins 90 % du temps en moyenne par mois, à l'issue de la mise en service terminée, sur la durée de vie requise du segment spatial.

Remarque : La disponibilité s'entend de la disponibilité opérationnelle : (Temps de disponibilité) / (Temps de disponibilité + Temps d'indisponibilité). Selon RD-03, le temps de disponibilité est le temps total pendant lequel un système est opérationnel (y compris l'étalonnage), c'est-à-dire qu'il satisfait aux exigences de performances attendues. Le temps d'indisponibilité est le temps total pendant lequel le système est inopérant, quelle qu'en soit la raison (pannes, maintenance corrective et préventive, retard administratif et soutien logistique, par exemple).

Justification : En fonction des budgets de disponibilité opérationnelle d'autres missions scientifiques terrestres. De plus, si la disponibilité est inférieure à 90 %, les données finales seront d'une utilité limitée pour les intervenants en cas d'incendie. Permet le mode sauvegarde, la correction d'orbite et les effets d'une particule isolée, etc. au sein du système, tout en empêchant la conception d'un système nécessitant de longues périodes de maintenance. L'exigence est explicite quant à la disponibilité par mois et non par an, car la durée d'imagerie et d'étalonnage de l'engin spatial varie en fonction des mois de l'année (voir WFS-MRD-FUN-010 et WFS-MRD-FUN-013). De plus, ce requis est applicable à l'engin spatial seulement, et il ne fournit pas le requis de disponibilité pour la mission de bout en bout, qui inclurait normalement le segment sol et le segment utilisateur. Cette décision a été prise par l'équipe WFS. Le requis de disponibilité imposable à l'équipement fourni par le gouvernement sera décrit à l'extérieur de ce document DEM.

WFS-MRD-OPE-137 Fiabilité du segment spatial

La fiabilité du segment spatial (hors lanceur) DOIT être supérieure à 0,56. La fiabilité du segment spatial (hors lanceur) est définie sur une période allant de l'entrée dans l'orbite souhaitée jusqu'à la fin de la durée de vie de la mission, comme défini dans l'exigence WFS-MRD-OPE-120.

Justification : Cette exigence garantit au système une probabilité de 0,5 d'être entièrement fonctionnel à la fin de la durée de vie de la mission.

WFS-MRD-OPE-138 Supprimé

WFS-MRD-OPE-139 Fiabilité du lanceur

La fiabilité du lanceur DOIT être supérieure à 0,89, de l'intégration de l'engin spatial au lanceur jusqu'au déploiement de l'engin spatial sur son orbite finale souhaitée.

Remarque : Le calcul de la fiabilité du lanceur repose sur la méthode décrite dans le Tableau A de AD-03.

Justification : Pour augmenter les chances de réussite de la mission.

5.2.3. Opérations et interfaces au sol

Plusieurs des exigences de suivi comprennent l'utilisation de systèmes fournis dans le cadre du Centre d'opérations multimitations (COMM). Le COMM est situé sur le site de l'ASC St-Hubert, et ses opérations sont gérées par le gouvernement du Canada. Les composantes propres à la mission GardeFeu font partie de ce que l'on appellera ici le Centre des opérations de la mission (COM).

WFS-MRD-OPE-140 Planification des activités des engins spatiaux

La mission DOIT utiliser le système de planification des activités des engins spatiaux (PLAN) fourni dans le cadre du COMM et configuré pour la mission GardeFeu, afin de gérer l'exploitation de la charge utile, y compris les vérifications des contraintes liées aux ressources, les activités d'entretien de l'engin spatial et les demandes de tâches spéciales.

Remarque : Le système PLAN est un équipement fourni par le gouvernement à la mission et il est entendu que si des compléments propres à la mission sont nécessaires (outils, algorithmes, etc.), ils peuvent être intégrés au système PLAN en coordination avec l'ASC.

Justification : L'utilisation du système PLAN permet d'assurer l'interopérabilité avec d'autres missions gérées par l'ASC et de réduire le temps d'intégration.

WFS-MRD-OPE-141 Dynamique de vol

La mission DOIT utiliser le système de dynamique de vol (DV) fourni dans le cadre du COMM et configuré pour la mission GardeFeu, qui donne les positions passées et à venir du ou des satellite(s) sur la base de la télémétrie GPS (Global Positioning System - Système mondial de positionnement) par satellite (si disponible) et des données de suivi. La dynamique de vol génère et distribue également tous les produits requis à l'intérieur ou à l'extérieur du Centre des opérations de mission (COM) en fonction de la position orbitale et de l'environnement. La dynamique de vol assure également la planification des manœuvres de correction d'orbite et d'évitement des collisions des satellites GardeFeu.

Remarque : Le système PLAN est un équipement fourni par le gouvernement à la mission et il est entendu que si des compléments propres à la mission sont nécessaires (outils, algorithmes, etc.), ils peuvent être intégrés au système PLAN en coordination avec l'ASC.

Justification : L'utilisation du système dynamique de vol permet d'assurer l'interopérabilité avec d'autres missions menées par l'ASC et de réduire le temps d'intégration.

WFS-MRD-OPE-142 Commande et contrôle

La mission DOIT utiliser le système de télémesure, télécommande et suivi en temps réel (RT3) fourni dans le cadre du COMM et configuré pour la mission GardeFeu. L'objectif principal du système RT3 est d'ingérer et d'afficher la télémesure depuis l'engin spatial, et d'envoyer des commandes à l'engin spatial en fonction de ses activités programmées et de la charge utile.

Remarque : Le système RT3 est un équipement fourni par le gouvernement à la mission et il est entendu que si des compléments propres à la mission sont nécessaires (outils, algorithmes, etc.), ils peuvent être intégrés au système RT3 en coordination avec l'ASC. Cependant, les contraintes suivantes s'appliquent :

1. Le RT3 doit être le système qui en contact direct avec l'engin spatial, et non les compléments propres à la mission.
2. Les compléments propres à la mission ne peuvent pas être essentiels à la mission, c'est-à-dire que le RT3 doit pouvoir envoyer des télécommandes et recevoir des données télémétriques même si ces compléments ne sont pas présents. En tant que mission détenue et exploitée par le gouvernement du Canada, l'ASC doit garder le contrôle total des opérations.

Pour les commandes et le contrôle en particulier, l'ASC a l'intention d'utiliser le système Galaxy (<https://hammers.com/galaxy>) [seulement anglais] pour les opérations multi-missions.

Justification : L'utilisation du système RT3 permet d'assurer l'interopérabilité avec d'autres missions menées par l'ASC et de réduire le temps d'intégration.

WFS-MRD-OPE-143 Surveillance de la santé des engins spatiaux

La mission DOIT utiliser le système de surveillance de la santé des engins spatiaux (SCHM) fourni dans le cadre du COMM et configuré pour la mission GardeFeu, afin de pouvoir générer des rapports d'analyse télémétrique et de gérer les tables de mémoire embarquées des engins spatiaux.

Remarque : Le SCHM est un équipement fourni par le gouvernement à la mission et il est entendu que si des compléments propres à la mission sont nécessaires (outils, algorithmes, etc.), ils peuvent être intégrés au SCHM en coordination avec l'ASC.

Justification : L'utilisation du système SCHM permet d'assurer l'interopérabilité avec d'autres missions menées par l'ASC et de réduire le temps d'intégration.

WFS-MRD-OPE-144 Gestion des données

La mission DOIT utiliser le système de gestion des données (DM) fourni dans le cadre du COMM et configuré pour la mission GardeFeu, afin de fournir une installation centrale de transfert de données COM et des capacités d'archivage à court et à long terme.

Remarque : Le système DM est un équipement fourni par le gouvernement à la mission et il est entendu que si des compléments propres à la mission sont nécessaires (outils, algorithmes, etc.), ils peuvent être intégrés au système DM en coordination avec l'ASC.

Justification : L'utilisation du système DM permet d'assurer l'interopérabilité avec d'autres missions menées par l'ASC et de réduire le temps d'intégration.

WFS-MRD-OPE-145 Maintenance et support

La mission DOIT inclure des capacités de maintenance et de support des engins spatiaux pour assurer, pendant les opérations :

- Le développement, la mise à jour et la validation des logiciels de vol;
- L'élaboration, la mise à jour et la validation des procédures de vol et des produits (c'est-à-dire les tableaux et paramètres);
- La formation;
- Les activités d'exercice et de répétition;
- Les essais de validation de fonctionnement des engins spatiaux;
- Les enquêtes sur les anomalies des engins spatiaux;

Justification : L'équipe d'exploitation de l'engin spatial aura besoin de ces capacités de maintenance pour assurer l'entretien de l'engin spatial tout au long de sa durée de vie opérationnelle.

WFS-MRD-OPE-150 Supprimé**WFS-MRD-OPE-160 Supprimé****WFS-MRD-OPE-170 Supprimé****WFS-MRD-OPE-180 Supprimé****WFS-MRD-OPE-190 Supprimé****WFS-MRD-OPE-200 Capacité d'attribution rapide des tâches**

La mission DOIT inclure la possibilité, pour le COS et les opérateurs, d'interrompre les opérations normales afin de procéder à des opérations d'attribution de tâches spéciales dans les 12 heures qui suivent la réception d'une demande au centre des opérations. Cette exigence ne concerne pas la dotation en personnel des opérations ni la disponibilité de la station au sol, mais uniquement les capacités du système au sol et des engins spatiaux, en supposant que le personnel et les laissez-passer requis pour la station au sol sont disponibles.

Justification : Fournit les capacités d'exécution d'une mission pour mettre en œuvre des activités de pointage spéciales urgentes requises par les activités d'étalonnage et de validation ou les situations d'urgence. WFS-MRD-FUN-170.

WFS-MRD-OPE-210 Supprimé**WFS-MRD-OPE-211 Services de conjonction**

La mission DOIT utiliser les services d'analyse de conjonction fournis par l'ASC. Le système d'évaluation et d'atténuation des risques de conjonction (CRAMS) propose des services d'analyse de conjonction à la mission GardeFeu.

Justification : Les services d'analyse de conjonction proposés par l'ASC permettent d'assurer l'interopérabilité avec d'autres missions menées par l'ASC.

WFS-MRD-OPE-212 Services de réservation d'antenne

La mission DOIT utiliser les services de résolution des conflits et de réservation d'antenne proposés par l'ASC. Le système de réservation d'antennes (SRA) est destiné à être utilisé pour proposer des services de résolution de conflits et de réservation d'antennes à la mission GardeFeu.

Justification : Les services de résolution de conflits et de réservation d'antennes proposés par l'ASC permettent d'assurer l'interopérabilité avec d'autres missions menées par l'ASC et une meilleure coordination des antennes utilisées par toutes les missions menées par l'ASC.

WFS-MRD-OPE-215 Services TT&C

La mission DOIT utiliser, au minimum, les stations au sol canadiennes du réseau de stations au sol (GSN) du CCCOT (Gatineau, Prince-Albert, Inuvik) pour le TT&C en bande S.

Justification : RNCAN propose des services de réception par stations au sol/satellites depuis plus de 50 ans. Dans le budget 2021, le gouvernement du Canada s'est engagé de façon importante à renforcer la capacité et la résilience de ces services. Dans le cadre du budget 2022, RNCAN a reçu un financement supplémentaire suffisant pour fournir un support de réseau de stations au sol pour la mission GardeFeu, comprenant toutes les transmissions en liaison montante/descendante des signaux/données TT&C via les stations en bande S détenues et exploitées par le CCCOT.

WFS-MRD-OPE-220 Réduction du nombre de contacts TT&C

La mission DOIT être conçue pour nécessiter un maximum de deux (2) contacts TT&C périodiques et de maintenance par jour et par engin spatial, à l'exclusion des nouvelles demandes d'acquisition et des demandes d'attribution rapide des tâches du COS, afin de maintenir la bonne santé de tous les systèmes tout en répondant aux exigences de la mission. Cette limite exclut les demandes d'acquisition spéciales et les demandes d'attribution rapide des tâches du COS.

Justification : Optimiser le partage des ressources TT&C entre les missions et optimiser les coûts opérationnels de la mission.

WFS-MRD-OPE-230 Supprimé

WFS-MRD-OPE-240 Services de réception des données

La mission DOIT utiliser, au minimum, les stations au sol canadiennes du réseau de stations au sol (GSN) du CCCOT (Gatineau, Prince-Albert, Inuvik) pour la réception de données en bande X.

Remarque : Les stations au sol d'Inuvik et de Gatineau disposent également de capacités en bande Ka, qui pourraient également être envisagées.

Justification : RNCAN propose des services de réception par stations au sol/satellites depuis plus de 50 ans. Dans le budget 2021, le gouvernement du Canada s'est engagé de façon importante à renforcer la capacité et la résilience de ces services. Dans le cadre du budget 2022, RNCAN a reçu un financement supplémentaire suffisant pour fournir un support de réseau de stations au sol pour la mission GardeFeu, comprenant toutes les transmissions en liaison descendante de données GardeFeu via les stations de réception en bande X détenues et exploitées par le CCCOT.

WFS-MRD-OPE-250 Services d'archivage et de distribution de données

La mission DOIT utiliser les services d'archivage et de distribution des données du CCCOT fournis par l'intermédiaire du SGDOT pour l'archivage à long terme de tous les produits de données de Niveau 0 et de Niveau 1b générés par le segment sol.

Remarque : La mission GardeFeu peut avoir un segment commercial, qui peut ou non utiliser les services d'archivage et de distribution de données du CCCOT fournis par l'intermédiaire du SGDOT, pour l'archivage à long terme de tous les produits de données de niveau 0 et de niveau B générés par le segment commercial.

Justification : RNCAN propose des services d'archivage à long terme et de distribution des données d'imagerie d'observation de la Terre au gouvernement du Canada depuis de nombreuses années, conformément aux exigences de la Loi sur les systèmes de télédétection spatiale (RSSSA). Dans le cadre du budget 2022, RNCAN a reçu un financement supplémentaire suffisant pour étendre tous les services d'archivage et de distribution de données pour les produits de données scientifiques de Niveau 0 et de Niveau 1b de GardeFeu dans SGDOT.

WFS-MRD-OPE-260 Services de planification des activités d'acquisition de données

Le segment sol DOIT s'appuyer sur le COS, développé et exploité par le SCF, pour planifier et générer des calendriers d'activités liées à la charge utile, telles que l'acquisition de données, ou toute autre activité spéciale d'affectation de charge utile pour prendre en charge, par exemple, l'étalonnage, les situations d'urgence, la maintenance.

Justification : RNCAN fournit depuis de nombreuses années, au niveau national, des produits au personnel canadien de gestion des incendies et d'exploitation pour soutenir la gestion des incendies. L'interface principale entre tous les utilisateurs finaux et GardeFeu est le COS, et tous les produits de données scientifiques de Niveau 2+ seront générés dans ce centre. Dans le cadre du budget 2022, le COS a obtenu des financements pour planifier et générer les calendriers d'activités.

WFS-MRD-OPE-270 Services de traitement et de distribution des données de Niveau 2+ - Paliers 1, 2 et 3

La mission DOIT s'appuyer sur le COS, développé et exploité par le SCF, pour le traitement et l'archivage des produits de données scientifiques au-delà du Niveau 1b (c'est-à-dire le Niveau 2+ Paliers 1, 2 et 3) et leur distribution aux utilisateurs finaux.

Justification : RNCa fournit depuis de nombreuses années, au niveau national, des produits au personnel canadien de gestion des incendies et d'exploitation pour soutenir la gestion des incendies. Dans le cadre du budget 2022, RNCa a reçu un financement pour traiter, archiver et distribuer les produits de données scientifiques de Niveau 2+ via des structures et des systèmes déjà établis bien connus des utilisateurs finaux.

5.2.4. Campagne de validation pré-lancement

WFS-MRD-OPE-300 Instrument de charge utile de validation

La mission DOIT avoir accès à un instrument de charge utile adapté à une campagne aéroportée ou à une mission spatiale, qui permettra d'atteindre les objectifs suivants de la campagne de validation pré-lancement :

1. Valider la méthode d'évaluation GardeFeu et déterminer les paramètres optimaux pour maximiser la sensibilité de la charge utile infrarouge (par exemple, fréquence d'image, paramètres TDI et HDR).
2. Valider la méthode d'analyse GardeFeu et déterminer les paramètres optimaux pour obtenir des informations sur les incendies sous-pixels, comme la taille et la température des incendies sous-pixels et l'identification des faux positifs (c'est-à-dire la méthode et les paramètres de traitement ETH).
3. Fournir des données pour aider à valider les éléments clés de la chaîne de traitement GardeFeu pour les Paliers 1, 2 et 3.
4. Donner la possibilité à l'entrepreneur, si cela fait partie de son plan de vérification, de vérifier la précision radiométrique des capteurs infrarouges de GardeFeu, de déterminer la procédure et les paramètres optimaux d'étalonnage en vol et de vérifier la chaîne de traitement du niveau 0 au niveau 1b, y compris l'étalonnage radiométrique et le géoréférencement.

Remarque : La validation des éléments clés de la chaîne de traitement GardeFeu pour les Paliers 1, 2 et 3 dans l'objectif 3 relève de la responsabilité du SCF de RNCa.

Justification : Soutenir les objectifs de la campagne de pré-lancement, c'est-à-dire valider les performances des technologies clés de la charge utile infrarouge de GardeFeu ainsi que les méthodes et paramètres d'acquisition correspondants.

WFS-MRD-OPE-310 Interface de l'instrument aéroporté

Dans le cas où un instrument aéroporté est sélectionné pour répondre à la norme WFS-MRD-OPE-300, l'instrument aéroporté de la campagne DOIT répondre aux exigences d'interface de la plateforme de recherche à haute altitude de l'aéronef ER-2 de la NASA (AD-04).

Justification : L'aéronef ER-2 de la NASA est l'aéronef le plus susceptible d'être utilisé par le SCF de RNCAN. Si un autre aéronef est utilisé, les exigences d'interface sont censées être moins strictes, mais toujours compatibles avec les exigences d'interface de l'aéronef ER-2.

5.3 CONTRAINTES

WFS-MRD-CON-010 Supprimé

WFS-MRD-CON-020 Supprimé

WFS-MRD-CON-030 Supprimé

WFS-MRD-CON-040 Supprimé

WFS-MRD-CON-050 Supprimé

WFS-MRD-CON-060 Supprimé

WFS-MRD-CON-070 Supprimé

WFS-MRD-CON-080 Supprimé

WFS-MRD-CON-090 Supprimé

WFS-MRD-CON-100 Règlements de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT)

Toutes les émissions radioélectriques des engins spatiaux GardeFeu et des stations au sol DOIVENT être conformes aux réglementations de l'UIT [AD-01].

Justification : Exigences réglementaires.

WFS-MRD-CON-110 Politique de données ouvertes

La mission GardeFeu sera soumise à la Loi sur les systèmes de télédétection spatiale et DOIT s'y conformer [AD-02].

Justification : Exigences réglementaires.

WFS-MRD-CON-120 Politique de données ouvertes

Les produits de données scientifiques produits par la mission SERONT mis à la disposition du public par l'intermédiaire du SGDOT, sous réserve des restrictions applicables en matière de sécurité, de confidentialité et de confidentialité.

Justification : Respecter les principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) énoncés dans la Feuille de route pour la science ouverte [RD-04] et l'esprit de la Directive sur le gouvernement ouvert [RD-05].

WFS-MRD-CON-130 Cryptage de la transmission en liaison montante en bande S

Le système DOIT assurer le cryptage de la transmission des données en liaison montante en bande S à l'aide d'un dispositif de cryptographie certifié FIPS 140-3 (de préférence) ou FIPS 140-2.

Justification : L'authentification de commande assure un contrôle intégral des engins spatiaux et garantit que des tiers non autorisés ne prennent pas le contrôle de l'engin spatial. Le système n'a pas besoin d'incorporer la cryptographie pour chiffrer les données scientifiques, car ces données ne seront pas classifiées.

WFS-MRD-CON-140 Supprimé**WFS-MRD-CON-150 Mode sans échec de l'engin spatial**

L'engin spatial DOIT être capable d'assurer sa propre sécurité en toute autonomie pendant au moins 1 mois, y compris en cas d'indisponibilité du segment sol (y compris le COMM). Maintenir la sécurité signifie protéger automatiquement tous les équipements embarqués afin de pouvoir récupérer toutes les capacités et performances dès que le segment sol a rétabli le contact avec l'engin spatial après la période d'indisponibilité.

Justification : La mission ne prévoit aucune installation de contrôle de secours à chaud. Toutefois, en cas de force majeure empêchant le COMM de St-Hubert de communiquer avec l'engin spatial pendant plus de 1 mois, le COMM pourrait potentiellement être déployé en externe. L'équipe d'exploitation du satellite a donc recommandé que l'engin spatial soit capable de maintenir sa propre sécurité pendant au moins 1 mois sans avoir besoin d'intervention au sol, pour leur laisser le temps de déployer le système de contrôle.

WFS-MRD-CON-160 Évitement de collision

La mission DOIT être prévue et menée pour gérer activement le risque de collision jusqu'à la fin de vie.

Justification : Clarification apportée aux exigences d'assurance de la qualité applicable à l'atténuation des collisions. La mission GardeFeu, en tant que mission opérationnelle, devrait permettre d'éviter les collisions dans la mesure du possible grâce à son système de propulsion.

WFS-MRD-CON-170 Désorbitation

La mission DOIT être conçue et disposer de suffisamment de matières consommables afin de pouvoir manœuvrer chaque engin spatial jusqu'à sa désorbitation dans les cinq ans suivant la fin de la mission, avec une probabilité de réussite d'au moins 0,9.

Justification : Cette exigence est plus contraignante que les normes ISO 24113:2019 6.3.3.1 and 6.3.1.1 énumérées dans les exigences d'assurance produit. En 2002, le comité de coordination interagence sur les débris spatiaux a recommandé pour la première fois de limiter la durée de vie résiduelle en orbite à 25 ans. Compte tenu de l'évolution de l'environnement orbital, une durée de vie orbitale considérablement réduite est aujourd'hui généralement considérée comme nécessaire. Certaines études ont montré que, par rapport à 25 ans, la réduction de la limite à 5 ans entraîne une réduction significative du risque de collision.

6. ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

Élément	Définition
2D	Deux dimensions
ASC	Agence spatiale canadienne
CCCOT	Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre
CCSDS	Consultative Committee for Space Data Systems
COM	Centre des opérations de la mission
COMM	Centre d'opérations multimissions
COS	Centre des opérations scientifiques
CRAMS	Conjunction Risk Assessment and Mitigation System (système d'évaluation et d'atténuation des risques de conjonction)
CSA	Couche supérieure de l'atmosphère
CWFMS	Canadian Wildland Fire Monitoring System (système canadien de surveillance des feux de forêt)
DCC	Dispositif à couplage de charge
DEM	Document sur les exigences de la mission
DEU	Document des exigences de l'utilisateur
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (agence spatiale allemande)
DM	Système de gestion des données d'observation de la Terre
DV	Système de dynamique de vol
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
EE	Énergie encadrée
EHT	Événement haute température
FAIR	Findable, Accessible, Interoperable and Reusable (Trouvable, accessible, inter-opérable et réutilisable)
FD	Flight Dynamics (Dynamique de vol)
FEP	Fonction d'étalement du point
FIPS	Federal Information Processing Standards (Standard fédéral pour le traitement de l'information)
FOV	Field of View (champ de vision)
FSR	Fonction de réponse spectrale
FTM	Fonction de transfert de modulation
GD	Gestion des données
GIFOV	Ground Instantaneous Field of View (champ de visée instantané au sol)
GPS	Global Positioning System (système mondial de positionnement)
GSN	Ground Station Network (réseau de stations au sol)
IFOV	Instantaneous Field of View (champ de vision instantanée)
IR	InfraRouge
LEO	Low Earth Orbit (Orbite basse terrestre)
LTAN	Local Time of Ascending Node (heure locale du nœud ascendant)

Élément	Définition
LTDN	Local Time of Descending Node (heure locale du nœud descendant)
LTMH	Largeur totale à mi-hauteur
LWIR	Long-Wave InfraRed (infrarouge à grande longueur d'onde)
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (spectroradiomètre imageur à résolution moyenne)
MWIR	Mid-Wave InfraRed (infrarouge à longueur d'onde moyenne)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (agence spatiale américaine)
NESR	Noise Equivalent Spectral Radiance (radiance spectrale équivalente au bruit)
NETD	Noise-equivalent temperature difference (résolution thermique de mesure)
NIR	Near-Infrared (proche infrarouge)
NIRST	New Infrared Sensor Technology (nouvelle technologie de capteurs infrarouges)
NMT	Niveau de maturité technologique
OT	Observation Terrestre
PDTS	Programme de développement de la technologie spatiale
PEB	Puissance équivalente de bruit
PGF	Plateforme géospatiale fédérale
PLAN	Système de planification des activités des engins spatiaux
PRF	Puissance radiative du feu
RMS	Root-Mean-Square (quadratique)
RNCan	Ressources naturelles Canada
RT3	Système de télémessure, de télécommande et de suivi en temps réel
SCF	Service canadien des forêts
SCHM	Spacecraft Health Monitoring system (système de surveillance de la santé des engins spatiaux)
SGDOT	Système de gestion des données d'observation de la Terre
SLSTR	Sea and Land Surface Temperature Radiometer (Radiomètre pour la température du sol et de la mer)
SNR	Signal-to-noise ratio (Rapport signal sur bruit)
SRA	Système de réservation d'antenne
TDI	Time-delayed integration (Intégration temporisée)
TET	Technology Experiment Carrier (porteur d'expériences technologiques)
TT&C	Telemetry, Tracking and Control (Poursuite, télémessure et contrôle)
UIT	Union Internationale des Télécommunications

Élément	Définition
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (suite de radiomètres pour imageurs dans l'infrarouge et le visible)
VIS	Visible
VIS/NIR	Visible/Near-Infrared (Visible/Proche infrarouge)
WFS	WildFireSat
ZI	Zone d'intérêt



Pour voir plus de publications liées à la foresterie, rendez-vous sur le
site Web des publications du Service canadien des forêts