

	IPGP-CNRS-OCA ERC LISTEN FLASH Non sensible	Réf: LTF-2026-1 Date : 20/05/2026 Edition : 2/0 Page : 1/16
---	--	---

Cahier des Clauses Techniques particulières

ERC-LTFLASH CAMERAS

	Nom	Date et Signature
Préparé par :	Philippe Lognonné Marco Delbo Pierre-Yves Froissart	
Approuvé par :	Philippe Lognonné	
Vérifié par :	Pierre-Yves Froissart Daniel Sheward Philippe Lognonné	

Références

Classification : Non sensible
Mots-clés: ERC LTFLASH ; CAMERA
Auteur : P.Lognonné

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 2/16
---	--	--

Résumé : Ce document fournit la description technique de l'appel d'offres pour la sélection des caméras du projet LISTEN-FLASH.

Contrat : **ERC LISTEN FLASH**

Logiciel : **Word MS-Office**

Nombre de pages: 15

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Commentaires
1.0	3/29/2026	First draft
2.0	5/20/206	Final UK version
2.1	5/21/2026	Traduction Française
3.0	6/16/2026	Version finale pour appel d'offre

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 3/16
---	--	--

TABLE DES MATIÈRES

1.	Introduction	3
2.	Documents de référence	4
3.	Abréviations	6
4.	Contexte et Objectifs Scientifiques	7
4.1.	Contexte du projet ERC LISTEN-FLASH	7
4.2.	Généralités sur les LIFs	8
5.	Instruments	10
5.1.	Spécifications de la caméra en bande J	10
5.2.	Spécifications de la caméra en bande I	11
6.	Exigences Opérationnelles (pour les deux caméras en bande I et J)	12
7.	Exigences d'Exportation et de Livraison (pour les deux caméras en bande I et J).....	13
8.	Qualité et Garanties (pour les deux caméras en bande I et J)	13
9.	Communication	16
10.	Outil python d'évaluation	16

1. INTRODUCTION

Ce document décrit les spécifications techniques requises pour les caméras des télescopes TILTs (Twin Impact Lunar Telescopes), développés et déployés dans le cadre du projet LISTEN FLASH, un projet Advanced ERC financé par la Commission Européenne. Une vue du télescope TILT-1 est présentée en Fig. 1.



Figure 1 : Photo du premier télescope TILT, installé à Calern (France), durant des tests en décembre 2025.

2. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Référence		Informations
[1]	10.3030/101199624	Lunar Impact's Seismic and Telescopes European Network for Flash, Project description
[2]	10.1093/nsr/nwad329	Wang, C. Y.Jia, C.Xue, Y.Lin, J.Liu, X.Fu, L.Xu, Y.Huang, Y.Zhao, Y.Xu, R.Gao, Y.Wei, Y.Tang, D.Yu and Y.Zou, (2023) Scientific objectives and payload configuration of the Chang'E-7 mission, National Science Review, 11, nwad329
[3]		Panning, M. P., Avenson, B., Bailey, S. H., Bremner, P. M., Bugby, D., de Raucourt, S., Garcia, R., DellaGiustina, D.; Kawamura, T., Kedar, S., Lognonné, P., Neal, C., Pike, W. T. and Weber, R. C (2023) Farside Seismic Suite: A Long-Lived Geophysical Package and a Model for a Potential Lunar Seismic Network, 54th Lunar and Planetary Science Conference, 1266

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 5/16
---	--	--

[4]		Schmerr N., M. Benna, N. McCall, A. Marusiak, S. Bailey, D. DellaGiustina, V. Bray, P. Byrne, B. Avenson, D. Kim, N. Shah (2024) The Lunar Environmental Monitoring Station: An Artemis 3 Deployed Instrument, <i>Mars Interior and Geophysics after InSight conference</i> , Baltimore, abstract #610
[5]	10.1126/science.175.4027.1244	Watkins, J.S, R.L. Kovach (1972), Apollo 14 Active Seismic Experiment, <i>Science</i> , 175, 1244-1245,
[6]	10.1016/j.icarus.2011.11.028	Ortiz JL, Aceituno FJ, Aceituno J (1999) A search for meteoritic flashes on the Moon. <i>Astron Astrophys</i> 343:L57–L60
[7]	10.1016/j.icarus.2011.11.028	Bouley, S., D.Baratoux, J.Vaubailon, A.Mocquet, M.Le Feuvre, F.Colas, Z.Benkhaloun, A.Daassou, M. Sabil and P.Lognonné (2011), Power and duration of impact flashes on the Moon: Implication for the cause of radiation, <i>Icarus</i> , 218, 115-124
[8]	10.1093/mnras/stv1921	Ortiz, J.L., J. M. Madiedo, N. Morales, P. Santos-Sanz, F. J. Aceituno (2015), Lunar impact flashes from Geminids: analysis of luminous efficiencies and the flux of large meteoroids on Earth, <i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i> , 454, 344–352,
[9]	10.1016/j.icarus.2014.04.032	Suggs, R.M., D.E. Moser, W.J. Cooke, R.J. Suggs (2014), The flux of kilogram-sized meteoroids from lunar impact monitoring, <i>Icarus</i> , 238, 23-36
[10]	10.1093/mnras/stz355	Avdellidou, C., J Vaubailon (2019), Temperatures of lunar impact flashes: mass and size distribution of small impactors hitting the Moon, <i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i> , 484, 5212–5222
[11]	https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/2014acm.conf..365M	Moser, D., Suggs, R., and Suggs, R. J. (2014), Large meteoroid impact on the Moon on 17 March 2013, <i>Asteroids, Comets, Meteors conference 2014</i> , 365
[12]	10.1093/mnras/stu083	Madiedo, J.M, J.L. Ortiz, N.Morales, J.Cabrera-Caño (2014), A large lunar impact blast on 2013 September 11, <i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i> , 439, 2364–2369
[13]	10.1093/mnras/stad2707	Sheward,D, M. Delbo, C. Avdellidou, A. Cook, P. Lognonné, E. Munaibari, L. Zanatta, A. Mercatali, S. Delbo and P. Tanga (2024), Extending Lunar Impact Flash Observations into the Daytime with Short-Wave Infrared, <i>Monthly Notice of the Royal Astr. Soc.</i> , 529, 3828-3837

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 6/16
---	--	--

[14]	https://doi.org/10.1086/519736	Montañés-Rodríguez, P., Pallé, E., Goode, P.R., 2007. Measurements of the Surface Brightness of the Earthshine with Applications to Calibrate Lunar Flashes. <i>Astron. J.</i> 134, 1145–1149.
[15]	https://doi.org/10.1051/0004-6361/202555481	Sheward, D., Delbo, M., Avdellidou, C., Cook, A. and Lognonné, P., 2025. Detection of small fresh craters on the Moon - Linking fresh craters to their lunar impact flash events. <i>A&A</i> , 699, L3
[16]		Sheward, D., Delbo, M., Avdellidou, C., Lognonné, P. et al. 2026. Twin Impact Lunar Telescope network: Lunar Impact Flash observations of the 2025 Geminids, submitted to <i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i> .

3. ABRÉVIATIONS

Sigle / abréviation	Définition
ERC	European Research Council
FPS	Frames Per Second
FSS	Farside Seismic Suite
HG	High Gain
I	La bande I fait référence à une bande photométrique allant de 0.7 à 1µm et centrée à 0.85 (proche infrarouge)
J	La bande J fait référence à une fenêtre atmosphérique de transmission, allant de 1.1 à 1.4µm et centré autour de 1.25µm (proche infrarouge).
LEMS	Lunar Environmental Monitoring Station
LG	Low Gain
LIF	Lunar Impact Flash
LT-FLASH	LISTEN FLASH
LS	Lunar Seismograph
R	La bande R fait référence à une bande photométrique allant de 0.55 à 0.8µm et centrée autour de 0.64-0.66µm (rouge dans le spectre visible).
ROI	Region of Interest
RSB	Rapport signal à bruit

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 7/16
---	--	--

SPSS	South Pole Seismic Station
VBB	Very Broad Band seismometer
z	La bande Z fait référence à une bande photométrique allant de 0.8 à 1µm et centrée à 0.91 (proche infrarouge)

4. CONTEXTE ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

4.1. CONTEXTE DU PROJET ERC LISTEN-FLASH

Les enjeux scientifiques du projet LISTEN FLASH (LT-FLASH) ^[1] portent sur l'étude de la structure du manteau supérieur et de la croûte de l'hémisphère sud de la Lune, ainsi que sur les couches superficielles du pôle Sud lunaire. Nous visons à déterminer sismiquement, pour la première fois, la composition globale, la porosité et la stratification de la croûte lunaire de l'hémisphère sud, une croûte feldspathique primitive issue de la différenciation lunaire.

Ces études sont généralement effectuées sur Terre par des profils sismiques contrôlés : Une explosion est utilisée comme source d'ondes sismiques et un réseau de sismomètres relève le temps d'arrivée des différents types d'ondes (ondes de compression (P), de cisaillement (S), de volume et de surface (R)). La connaissance du temps de la source, des temps d'arrivées et de la distance à la source permet de retrouver le temps et la vitesse apparente de propagation.

Plusieurs sismomètres vont être déployés sur la Lune sur la période 2026-2030 : le Lunar Seismometer (LS)^[2] chinois, lancé d'ici fin 2026, et les missions de la NASA, robotique dans un premier temps, avec Far Side Seismic Suite (FSS)^[3] puis la mission NASA Lunar Environment Monitoring Station (LEMS)^[4] embarquée à bord de la première mission Artémis à se poser sur la Lune, toutes deux prévues entre 2028 et 2030. Ce réseau sera potentiellement complété par la mission South Pole Seismic Station (SPSS), embarquée à bord de la seconde mission Artémis à se poser sur la Lune.

Ainsi, l'objectif du projet ERC LISTEN FLASH est de mesurer le temps d'impact et la localisation des impacts naturels sur le côté visible de la Lune, et de cibler ceux suffisamment large (mais rares) pouvant être détectés à plusieurs centaines, voire milliers de kilomètres, par les stations sismiques. Ceci pourra être réalisé par le suivi des flashes lumineux générés par les impacts (Lunar Impact Flash, LIF), observés par un réseau de télescopes au sol, comme les Twin Impact Lunar Telescopes (TILTs). Ces flashes sont émis lors du processus d'impact et agissent comme des balises lumineuses d'impact pour les observateurs terrestres.

Pour les grands impacts loin du limbe lunaire et donc facilement localisable, cela permettra d'établir des profils sismiques longue distance pour les stations FSS et du pôle Sud (LS, LEMS et éventuellement SPSS), la position et le temps de la source étant fournie directement par le LIF. Ces données sismiques permettront d'imager la croûte et le manteau supérieur de la Lune à l'aide de sources sismiques naturelles « étalonnées », équivalentes à des sources explosives (par ex. d'1 tonne de trinitrotoluène-TNT pour un impact de 16 kg à 24 km/s). Pour les impacts beaucoup plus petits près du pôle Sud, des impacts de 40 g à la même vitesse libéreront plus d'énergie que la source explosive de 2,7 kg d'Apollo 17, le tir le plus puissant de toutes les expériences de sismique active d'Apollo ^[5].

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 8/16
---	--	--

Comme montré sur la Figure 1, chaque TILT est composé de deux télescopes sur une monture. Les télescopes pointent dans la même direction mais ne nécessitent pas d'avoir le même champ de vue. Nous prévoyons d'avoir un télescope (par station) opérant dans la bande J et l'autre dans la bande I (Johnson) ou dans la bande Z du SDSS.

4.2. GENERALITES SUR LES LIFs

La détection des LIFs a été proposée début des années 1990, puis développée instrumentalement dans les années qui suivirent ^{[6],[7]}. Jusqu'en 2023, l'ensemble des détections reportées ont été réalisées exclusivement à l'aide de caméras opérant dans le domaine visible (400–800 nm), montées sur des télescopes au sol. Cette limitation technologique a contraint les observations aux conditions nocturnes et aux impacts survenant sur la face non éclairée du disque lunaire. L'énergie lumineuse (E_L) correspond à une fraction de l'énergie cinétique de l'impacteur (E_K). Cette valeur peut être exprimée comme $E_L = \eta E_K$, où η est l'efficacité lumineuse, avec des valeurs comprises dans l'intervalle $5 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-3}$ ^{[7],[8],[9],[15]}. De nuit, les seuils de détection sont typiquement de l'ordre de quelques dizaines de gramme avec un télescope de 40cm de diamètre ^[9] et de seulement quelques grammes avec des télescope de 1 m. Ces observations sont généralement menées à l'aide de caméras visible (non filtrées, dans les bandes R et/ou I) avec une cadence comprise entre 10 et 250 images par seconde. Les caméras à global shutter sont privilégiées (sans être exclusives, notamment lorsque la différence entre le temps d'exposition et le temps de trame est minimale, i.e. lecture en quelques millisecondes). Ces observations pointent typiquement l'hémisphère non éclairé par le Soleil de la Lune (mais illuminé par la lumière cendrée, Fig. 2).

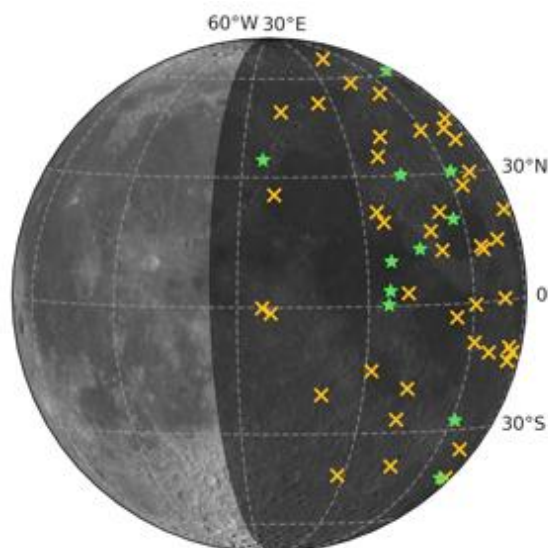


Figure 2 : Exemple de détection de flash par le télescope TILT-1 durant une campagne d'observation des Géminides en 2025. Les évènements non-confirmés sont indiqués en oranges, quand ceux confirmés sont en vert. Tiré de [16]. Lors de ces observations, le télescope était pointé vers l'hémisphère non-éclairé de la Lune. Dans le cadre du projet LT-FLASH, les observations cibleront également les LIFs se produisant sur l'hémisphère éclairé par le Soleil, visible sur cette image sous la forme du croissant lumineux.

La distribution en température des flashes d'impacts peut être approximée par une gaussienne centrée à 2700 K ^[10], la plupart des événements se situant entre 1800 K et 4500 K. La durée des LIFs varie d'environ 5 à 100 ms pour les plus faibles ^[10] (avec des impacteurs inférieurs à ~0,5 kg) jusqu'à plusieurs secondes pour les LIF les plus intenses détectés ^{[11],[12]} (masse > 100 kg). Les LIFs ont été détectés pour la première fois par notre équipe dans l'infrarouge, en bande J, en 2023 à l'aide d'un prototype du télescope LT-FLASH ^[13]. La bande J offre non seulement une meilleure sensibilité, mais aussi la capacité de détecter les LIFs en plein jour (depuis la Terre) et potentiellement aussi bien sur les zones directement éclairées que non éclairées de la Lune. En effet, les LIFs présentent des magnitudes en bande J entre 4,8 et 1,2 magnitudes plus brillantes qu'en bande R (selon la température du LIF ; pour 1800 et 4500 K respectivement). De plus, la luminosité du ciel de jour est plus de 10 fois plus faible en bande J qu'en bande R, et la lumière solaire réfléchiée par la Lune est environ 5 fois moins intense en bande J qu'en lumière visible. Observer de jour comme de nuit permet d'augmenter la couverture temporelle de surveillance des LIFs, ce qui est critique pour la détection des impacts rares de grande masse (1–100 kg) générant des ondes sismiques détectables à plusieurs milliers de kilomètres.

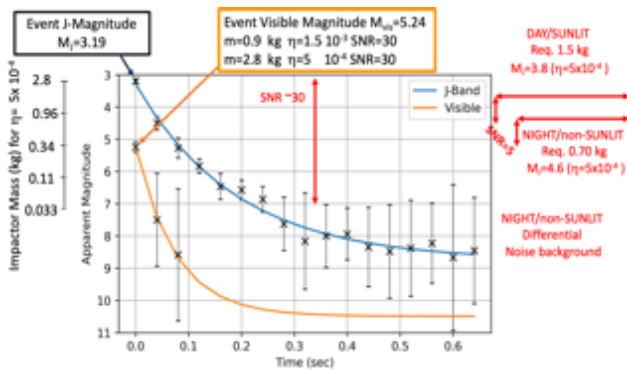


Figure 3 : Le signal de référence des LIFs provient de Sheward et al. [13], et est estimé comme correspondant à un impact de 2,8 kg (en supposant $\eta = 5 \times 10^{-4}$). De fortes incertitudes (d'un facteur au moins de deux) restent sur les estimations des masses pour un LIF de magnitude et de durée donnée et que cette figure n'est donnée qu'à titre indicative. Les images ont été produites à partir d'empilements de 4 images avec un temps d'exposition cumulé de 4 ms. Cela illustre, à partir des fonds observés, le signal et le bruit attendus en fonction des conditions d'observation. Les seuils sont définis pour les sous-trames de 1 ms. De nuit et en conditions non éclairées par le Soleil, des expositions plus longues seront réalisées, capturant intégralement l'émission des LIFs et ramenant le seuil de masse détectable à 10 g.

Les caractéristiques de la caméra listées ci-dessous ont été validées par les résultats et la méthodologie de Sheward et al. [13].

L'observations des LIFs dans la partie non-illuminée de la Lune est limitée par le reflet terrestre, dont la luminosité varie entre une magnitude 13 et 16 par arcsec² dans la bande V [14]. Pour un télescope ayant une ouverture similaire à TILT, un LIF de magnitude V=10 peut être détecté avec un RSB >10 dans la bande J (considérant un background lunaire de V=13 arcsec² et un fond de ciel similaire et un temps de pause de 10msec).

Le problème principal est l'observation des LIF sur l'hémisphère éclairé de la Lune, dont la luminosité varie entre V 4 et 6 arcsec⁻² [14]. Pour éviter la saturation des pixels, le temps d'exposition doit être réduit (nous estimons qu'un LIF de V=9 peut être détecté avec un RSB > 5 dans la bande J sur un fond lunaire de V=4 arcsec⁻² et un fond de ciel de V=4 arcsec⁻² avec un temps d'exposition de 5 ms), une grande capacité de puits d'électrons est ainsi souhaitable. On peut aussi envisager d'empiler des images pour atteindre le taux d'échantillonnage en sortie requis (< 20 ms). Plus le nombre d'images acquises est élevé, plus les marges d'observation seront importantes. Cependant, le temps de trame ne peut pas dépasser 20 ms.

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 10/16
---	---	--

Le bruit de photon sera la source dominante de bruit en mode faible gain lors des observations de l'hémisphère éclairé de la Lune et des observations de la lumière cendrée en journée. En revanche, le bruit instrumental sera probablement dominant lors des observations nocturnes des parties non éclairées de la Lune pendant la nuit. Les flashes liés aux impacts de météorites lunaires (LIF) sont mis à l'échelle en fonction de la masse de l'impacteur et du rendement lumineux, dont la valeur doit être prise au cas le plus défavorable ($\eta = 5 \times 10^{-4}$).

5. INSTRUMENTS

LT.0 Les caractéristiques de la caméra sont définies pour un télescope de longueur focale 170 cm, de diamètre d'ouverture 40 cm et de transmission instrumentale de 0,7 (70 %).

5.1. SPECIFICATIONS DE LA CAMERA EN BANDE J

La caméra devra satisfaire aux spécifications suivantes :

Efficacité quantique dans la bande J

LT.1.0 La caméra devra opérer entre 0.9 μ m et 1.5 μ m.

LT.1.1 L'efficacité quantique dans la bande J devra être de préférence supérieure à 0.8. Si ce critère n'est pas rempli, la caméra doit remplir toutes les spécifications L.T1.2-LT.1.8.

Gain et saturation

LT.1.2 La caméra devra avoir deux gains (Low and High).

LT.1.3 La caméra devra être capable d'acquérir 60 images par seconde ou plus.

LT.1.4 La caméra doit avoir un global shutter.

LT.1.5 Lors d'un fonctionnement à la cadence maximale (60 FPS ou plus) et lors de l'imagerie de la surface lunaire éclairée ($V = 4 \text{ mag arcsec}^{-2}$) dans des conditions d'observation diurnes (luminosité du ciel $V = 3-4 \text{ mag arcsec}^{-2}$) en mode low gain, les effets combinés du temps de lecture du détecteur et de la saturation des pixels ne devront pas dégrader le rapport signal à bruit (RSB) d'un LIFs de plus d'un facteur 2 par rapport à une exposition à intégration complète, où à 60 FPS une exposition à intégration complète correspondrait à 16,6 ms avec un temps de lecture virtuellement nul.

NB : À 60 FPS, ce qui correspond à un intervalle de trame de 16,6 ms, une implémentation possible satisfaisant cette exigence est un temps de lecture inférieur à 8,3 ms, combiné à un niveau ne dépassant pas ~70 % du seuil de saturation qui serait atteint pour un temps d'exposition de 4,15 ms. Cela nous permettrait de mesurer photométriquement des LIF jusqu'à une magnitude en bande V d'environ 4.

LT.1.6 La caméra ne devra pas atteindre 70 % de son niveau de saturation en mode high gain lors de l'observation de la partie non éclairée de la Lune pendant une observation nocturne, avec le temps d'exposition le plus long compatible avec sa cadence maximale.

LT.1.7 En mode Low Gain, la caméra devra être capable de détecter des LIFs de magnitude J 3.8 avec un RSB >5 durant des observations diurnes de la face illuminée de la Lune.

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 11/16
---	--	--

LT.1.8 En mode Low Gain, la caméra devra être capable de détecter des LIFs de magnitude J 5.5 avec un RSB >5 durant des observations nocturnes de la face non-illuminée de la Lune.

Résolution spatiale et champ de vue

LT.1.9 La caméra devra avoir un champ de vue permettant la couverture de 80% de l'hémisphère sud de la Lune dans toutes les conditions.

LT.1.10 La caméra devra avoir une résolution spatiale inférieure à 2 arc sec par pixel.

Monture et aspect mécaniques

LT.1.11 La caméra devra disposer d'une interface optique à filetage femelle M42×0,75 mm (monture T) ou M54×0,75 mm. Nous exigeons une interface de diamètre supérieur à celui du C-mount classique afin de minimiser la lumière parasite provenant de l'hémisphère lunaire éclairé par le Soleil, susceptible de se réfléchir sur les tubes mécaniques de faible diamètre (voir concept en Figure 4).

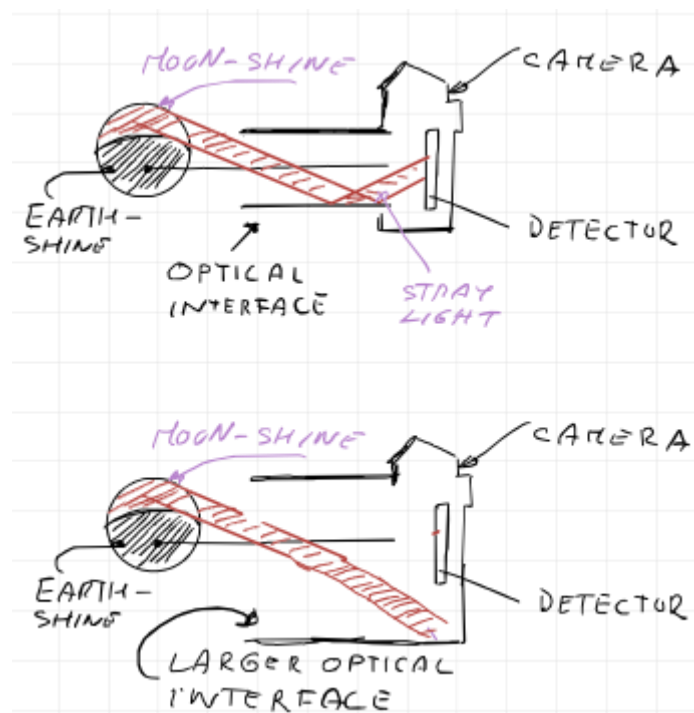


Figure 4: Interface optique pour la réduction de lumière parasite.

5.2. SPECIFICATIONS DE LA CAMERA EN BANDE I

La caméra devra satisfaire aux spécifications suivantes :

Efficacité quantique dans la bande I (ou Z)

LT.2.0 La caméra devra opérer entre 0.7 et 1µm.

LT.2.1 L'efficacité quantique en bande I devra de préférence être supérieure à 0,20. Dans le cas contraire, l'efficacité quantique devra être en mesure de satisfaire à toutes les exigences LT.2.2 à LT.2.8.

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 12/16
---	---	--

Gain et saturation

LT.2.2 La caméra devra avoir deux gains (Low et High), et dans le cas contraire, un seul gain devra être capable de couvrir les exigences LG et HG.

LT.2.3 La caméra devra être capable de capturer au moins 100 images par seconde pour tout le champ de pixels, et si possible plus de 200 images par seconde pour $\frac{1}{4}$ du champ de pixels.

LT.2.4 Le temps de capture de chaque pixel d'une image doit être connu, et déterminé avec une précision de 0,1 ms ou moins par rapport à l'horodatage d'un déclencheur externe (obturation globale ou déroulante).

LT.2.5 La caméra ne devra pas atteindre 70 % de sa saturation en LG lors de l'observation de la partie éclairée de la Lune pendant une observation diurne pour un temps de pose supérieur à 1 ms.

LT.2.6 La caméra ne devra pas atteindre 70 % de sa saturation en HG lors de l'observation de la partie non-éclairée de la Lune pendant une observation nocturne pour le plus long temps de pose compatible avec la cadence la plus élevée.

LT.2.7 En mode Low Gain, la caméra devra être capable de détecter un LIF de magnitude I 4.2 avec un RSB >5 durant les observations diurnes sur la partie éclairée de la Lune, tout en étant sous les 70% de saturation.

LT.2.8 En mode Low Gain, la caméra devra être capable de détecter des LIFs de magnitude I 9 avec un SNR>5 durant des observations nocturnes de la face non-illuminée de la Lune.

LT.2.9 En mode High Gain, la caméra devra être capable de détecter des LIFs de magnitude I 910 avec un SNR>5 durant des observations nocturnes de la face non-illuminée de la Lune.

Résolution et champ de vue

LT.2.10 La caméra devra avoir un champ de vue couvrant 100% de l'hémisphère sud de la Lune, et 80% de la Lune dans toutes les conditions (si besoin, un réducteur de focale peut être employé).

LT.2.11 La caméra devra avoir une résolution inférieure à 2 arc sec par pixel.

Contraintes mécaniques

LT.2.12 Comme pour la caméra en bande J, la caméra devra disposer d'une interface optique à filetage femelle M42×0,75 mm (monture T) ou M54×0,75 mm. Nous exigeons une interface de diamètre supérieur à celui du C-mount classique afin de minimiser la lumière parasite provenant de l'hémisphère lunaire éclairé par le Soleil, susceptible de se réfléchir sur les tubes mécaniques de faible diamètre (voir concept en Figure 4).

6. EXIGENCES OPERATIONNELLES (POUR LES DEUX CAMERAS EN BANDE I ET J)

Environnement

LT.3.1 La caméra doit être capable d'opérer entre -20°C et +55°C.

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 13/16
---	---	--

LT.3.2 La caméra doit être capable de fonctionner jusqu'à 85% d'humidité de l'air ambiant.

LT.3.3 Aucune condensation ne doit se produire sur le détecteur lorsque/si le détecteur est refroidi en interne.

LT.3.4 La caméra devra être capable d'opérer avec un minimum de maintenance et en toute autonomie.

Spécifications électriques et numériques

LT.3.5 La cadence d'acquisition de la caméra devra pouvoir être contrôlée de manière externe par un ordinateur de commande via un signal de déclenchement compatible TTL (signal carré). Une horloge interne par GPS est optionnelle.

LT.3.6 La caméra devra avoir un refroidissement actif.

LT.3.7 La numérisation de la caméra devra être égale ou supérieure à 12 bits.

Fourniture d'un kit de développement logiciel (SDK)

LT.3.8 Le titulaire du marché devra fournir, conjointement à la livraison de la caméra, un kit de développement logiciel (SDK) complet et fonctionnel, compatible avec les systèmes d'exploitation Linux (distribution Ubuntu, version LTS récente). Le SDK devra inclure l'ensemble des bibliothèques nécessaires à l'acquisition et au contrôle de la caméra, des exemples de code documentés, ainsi qu'une API permettant l'accès aux paramètres essentiels du capteur (temps d'exposition, gain, fréquence d'acquisition, température du détecteur, etc.). La documentation technique associée devra être fournie en langue anglaise ou française. Tout SDK propriétaire devra permettre son intégration dans un environnement de développement C++ ou Python.

7. EXIGENCES D'EXPORTATION ET DE LIVRAISON (POUR LES DEUX CAMERAS EN BANDE I ET J)

LT.4.1 La caméra devra être compatible avec les exportations vers les pays suivants : tous les pays de l'OTAN, tous les pays de l'UE, l'Australie, Chili, Japon, Maroc, Taiwan. Si le fournisseur potentiel n'est pas conforme à cette exigence, il devra fournir la liste des pays autorisés ainsi que les règles d'exportation applicables.

LT.4.2 La livraison de l'ensemble des caméras est demandée au plus tard 6 mois après notification. Toutefois, la livraison d'une première caméra avant 1^{er} octobre 2026 et la livraison des autres caméras avant le 1^{er} janvier 2027 seront appréciées. Le titulaire devra indiquer dans le CR la date potentielle de livraison des autres caméras.

8. QUALITE ET GARANTIES (POUR LES DEUX CAMERAS EN BANDE I ET J)

LT.5.1 Les paramètres suivant doivent être fournis par le vendeur pour la caméra proposée, et garantis avec une marge de 20%.

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 14/16
---	---	--

Paramètre	Informations Techniques	Unité
Réponse spectrale	Courbe de l'efficacité quantique fonction de la longueur d'onde	%
Gain du détecteur	Valeur sur la bande photométrique pour les gains LG/HG	e/photon
Puit de photon	Valeurs pour LG/HG	E
Bruit de lecture	Valeurs pour LG/HG	E
Courant d'obscurité	Valeurs pour LG/HG aux températures suivantes - Température ambiante de 20°C - A la température du capteur pour les caméras refroidies en interne - A la température du capteur pour les caméras refroidies par un système externe	e/pixel/s et Température(°C)
Gain électronique	Valeurs pour LG/HG	DU/e
Format de sortie numérique	Nombre de Bit Protocole de communication	
Vitesse d'acquisition (full frame)	Valeurs maximales for LG and HG	Hz
Temps de lecture	Valeurs pour LG/HG à plein format (si global shutter) Valeurs pour LG/HG par pixel (si rolling shutter)	ms
Vitesse d'acquisition (partial frame) Partial frame avec binning et/ou ROI.	Valeurs maximales for LG and HG avec le nombre de pixels (NX x NY)	Hz
Plage dynamique	Valeurs pour LG/HG	Db
Interface optique	Diamètre maximal d'éclairage du détecteur (pour les exigences de lumière parasite) Type de monture	mm Référence

LT.5.2 Les paramètres suivant doivent être fournis par le vendeur :

Type de détecteur		N/A
Nombre de pixels	NX x NY	

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 15/16
---	---	--

Pas pixel		$\mu\text{m} \times \mu\text{m}$
Surface active		Mm x mm
Temps d'exposition min et max		Ms
Mode d'obturation		
Interface de déclenchement		
Alimentation		V DC
Technologie de refroidissement et température minimum		
Correction d'image		
Fonctions contrôlées par les ports séries		
Consommation énergétique		W
Dimensions		mm x mm x mm
Température de stockage		°C
Poids		kg
Tolérance sur les chocs pour le transport		g-duration
SDK	Langage de programmation supporté, documentation à fournir	

LT.5.3 L'évaluation des performances listées dans LT.5.1 sera effectuée par l'IPGP et le CNRS durant une période de 3 mois suivant la réception des caméras. Si les paramètres sont non-conformes, l'IPGP et le CNRS fourniront au titulaire dans un délai de 4 mois un rapport des tests effectués et une demande de remplacement de l'instrument. Le modèle de remplacement devra être

	NOTICE TECHNIQUE (CCTP) — CAMÉRAS LTFLASH Non sensible	Réf : LTFLASH_26-001 Date : 20/05/2026 Edition : 1/0 Page : 16/16
---	--	---

livré au maximum 6 mois après l'envoi du rapport de non-conformité. La caméra défaillante sera renvoyée au titulaire seulement après réception du modèle de remplacement.

LT.5.4 La garantie demandée est d'un an, et une extension de garantie allant jusqu'à 3 années supplémentaires peut être proposée par le titulaire.

9. COMMUNICATION

Le projet LT FLASH permettra la détection conjointe d'impacts lunaires par des sismomètres installés sur la Lune et des caméras. Cette réalisation sera rendue possible à la fois par les performances des sismomètres lunaires installés et par les caméras utilisées conjointement avec les télescopes LISTEN FLASH. Ainsi, le titulaire sera autorisé à utiliser ce projet à des fins de publicité commerciale. Le type de caméra sera également mentionné dans les publications scientifiques des membres de l'équipe ERC.

Toute communication et publicité devront strictement respecter les règles d'embargo applicables aux publications et aux diffusions de données, citer les publications associées et se conformer aux règles de l'ERC et des agences spatiales partenaires.

Le succès de ce projet étant en partie hors du contrôle de l'équipe LT FLASH, notamment pour le segment spatial, les actions de communication et de publicité mentionnées ci-dessus ne peuvent être considérées comme acquises.

10. OUTIL PYTHON D'ÉVALUATION

Un outil Python est fourni en aide à l'analyse des caméras proposées (voir le fichier obsLif.py).