

Cahier des clauses techniques particulières

Acquisition d'une source calibrée par sphère intégrante

Février 2026

SOMMAIRE

Avant-propos	3
1 Spécifications techniques de la source.....	4
1.1 Dimensions et matériau de la sphère intégrante	4
1.2 Spectre et température de couleur de la source.....	4
1.3 Puissance lumineuse de la source	4
1.4 Dynamique de la source	4
1.5 Uniformité spatiale et angulaire de la sortie lumineuse	4
1.6 Calibration de la source	4
1.7 Connectique et système de contrôle de la source	5
1.8 Environnement d'utilisation de la source	5
2 Spécifications techniques du support.....	5
2.1 Eléments techniques du support avec son rail motorisé	5
2.2 Eléments techniques d'un contrôleur moteur haute précision	7
3 Livraison, installation et documentation	7
4 Garantie	7

AVANT-PROPOS

Dans le cadre de ses travaux de recherche, l'équipe de recherche Systèmes de transport intelligents (STI) du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) prend part au contrat de plan État-Région Auvergne Rhône-Alpes 2022-2027. Ce contrat de plan s'est notamment engagé dans le financement du projet MODE : Mobilité Durable, du CPER 2022-2027, dont un des axes principaux concerne la mobilité automatisée. Celle-ci est au cœur de l'évolution du secteur de la mobilité. Elle sous-tend entre autres un défi majeur lié à la sécurité. Celui-ci peut être abordé selon l'approche par scénarios de conduite, incluant des scénarios par simulation numérique avec prise en compte de conditions météorologiques dégradées. Dans ce cadre, le Cerema porte l'action MACD : Mobilité Automatisée en Conditions Dégradées du projet MODE, action qui met en étroite synergie l'Université Clermont Auvergne (UCA), l'INRAE et le Cerema.

L'action MACD contribue :

- à l'évaluation de briques de navigation autonome en dynamique sous conditions météorologiques dégradées et contrôlées ;
- au développement de briques de simulation numérique de l'effet de perturbations météorologiques sur des capteurs optiques embarqués (caméra, etc.).

Le développement de briques de simulation numérique sur les perturbations météorologiques vis-à-vis des capteurs optiques est une nécessité. Celle-ci requiert une confrontation avec des mesures physiques en luminance de scènes routières vues par les capteurs optiques du véhicule. Dans ce cadre, une caméra hyperspectrale a été acquise sur le présent projet pour évaluer finement les modélisations de propagation électromagnétique en milieu diffusant au cœur des simulateurs de capteurs perceptifs.

Le présent marché concerne l'achat d'une source de lumière par sphère intégrante visant à renforcer la métrologie des mesures effectuées par la caméra hyperspectrale.

Le soumissionnaire, en sa qualité de professionnel averti et compétent dans son domaine, a un devoir de conseil et est tenu de respecter les règles de l'art. À ce titre, il doit s'assurer que l'ensemble des prestations nécessaires à la bonne exécution du marché sont bien prises en compte. Si, à la lecture du cahier des charges, il identifie des omissions ou des éléments indispensables non explicitement mentionnés, il doit impérativement en informer le pouvoir adjudicateur et intégrer les éléments dans son offre afin de garantir un résultat conforme aux exigences du marché.

L'objectif de ce cahier des charges est de définir les spécifications techniques et les conditions requises pour l'acquisition d'une source de lumière par sphère intégrante calibrée radiométriquement en luminance spectrale sur la bande visible et SWIR (short wave infrared).

Le présent marché comprend, si elles sont levées à la notification, deux prestations supplémentaires éventuelles dont les exigences sont décrites en détail ci-dessous :

(PSE 1) : fourniture d'un support pour analyse optique de capteurs

(PSE 2) : fourniture d'un contrôleur moteur haute précision

1 SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE LA SOURCE

1.1 Dimensions et matériau de la sphère intégrante

La sphère intégrante devra présenter un diamètre de l'ordre de 30 cm avec un port de sortie de diamètre 10 cm. Le matériau interne de la sphère sera précisé et devra atteindre le mieux possible une réflectance spectrale proche de l'unité avec une exigence minimale à 0.9. Une courbe de réflectance spectrale sera fournie.

1.2 Spectre et température de couleur de la source

Le spectre de la source couvrira à minima la plage de 350 nm à 2400 nm et son étendue devra être précisée dans le mémoire technique. La température de couleur devra être de minimum 2800 K et s'approcher de 3000 K. Un descriptif des lampes utilisées sera fourni ainsi qu'un jeu de remplacement des lampes.

1.3 Puissance lumineuse de la source

La puissance de la source devra assurer un éclairage de sortie supérieur ou égal à 150 000 lux et une luminance photométrique au moins égale à 50 000 cd/m². La luminance spectrale de sortie devra être précisée et devra pouvoir dépasser en pic 1 500 W/(m².sr.µm). La luminance énergétique sur l'ensemble du spectre devra être précisée également.

1.4 Dynamique de la source

La dynamique de la source devra être précisée ainsi que la résolution minimale exprimée en lux. Cette dernière devra être inférieure ou égale à 1,5 mlx. La dynamique pourra être exprimée en nombre de pas de résolution entre la puissance minimale et la puissance maximale. Le contrôle de la puissance de la source devra être décrit, notamment pour ce qui concerne le type de détecteur utilisé et le procédé de pilotage de la puissance lumineuse de sortie.

1.5 Uniformité spatiale et angulaire de la sortie lumineuse

Le port de sortie de la sphère intégrante assurera une émission lambertienne de lumière dont les uniformités spatiale et angulaire seront précisées. Les défauts d'uniformité ne devront pas dépasser 5 % avec un objectif optimal de 1 %.

1.6 Calibration de la source

La source sera calibrée spectralement et radiométriquement par certificat. Les détails de cette calibration devront être fournis dans le mémoire technique (gamme spectrale sur laquelle porte la calibration, nombre de points de calibration en puissance, validité par rapport à la durée d'utilisation des lampes, etc.).

D'éventuelles procédures de maintenance et de calibration régulière conseillées seront clairement exposées avec la fréquence associée et le coût. Elles pourront être accompagnées de conseils sur des procédures à mener en interne (spectroradiomètre 350 nm - 2500 nm disponible chez l'acheteur).

1.7 Connectique et système de contrôle de la source

Le type de connexion de la sphère intégrante avec son module de contrôle sera détaillé. Le logiciel de commande de la source sera précisé et documenté, notamment pour ses principales fonctions et son opérabilité sur un ordinateur.

1.8 Environnement d'utilisation de la source

Les conditions d'utilisation de la source seront précisées dans le mémoire technique.

2 SPECIFICATIONS TECHNIQUES DU SUPPORT

Le support fait l'objet de deux prestations supplémentaires éventuelles proposées par le titulaire :

- Un support avec son rail motorisé (PSE n°1);
- Un contrôleur moteur haute précision (PSE n°2).

Nous détaillons dans la suite les spécifications de chacune des deux prestations.

2.1 Eléments techniques du support avec son rail motorisé

Afin de pouvoir réaliser les calibrations de capteurs optiques à l'aide de la sphère intégrante, l'ajout d'un support de calibration dans lequel la sphère intégrante pourra s'insérer est décrit. Le support se décompose en un bloc modulaire avec un axe motorisé.

Le support de base devra être entièrement modulaire et sera constitué de profilés Bosch Rexroth ou de composants techniquement équivalents. Il est toutefois impératif d'utiliser des profilés à rainure, tels que ceux proposés en exemple, afin de permettre des réglages transversaux et longitudinaux sans perçage ni intervention sur les rails ou sur les montants de la structure. Le plan présenté dans la Figure 1 illustre une proposition de conception du support.

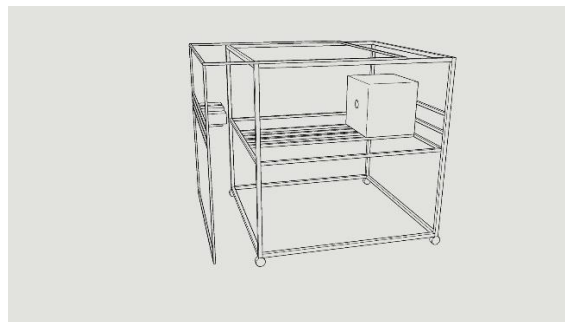
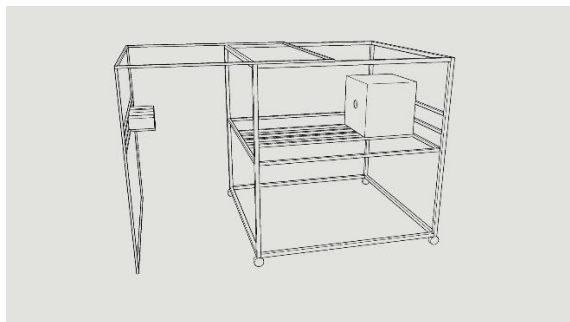


Figure 1 - Le support de calibration avec la sphère intégrante sur la droite du cadre. A gauche, le module des capteurs est réglé au maximum de profondeur, à droite le module de caméra est réglé au plus près. La sphère intégrante est logée au centre de la cage, ce qui permet de la protéger et de la supporter proprement. Au sol, des roulettes permettent un déplacement dans la pièce facilité.

Le support devra assurer le maintien de la sphère intégrante et intégrer, sur la face opposée, un rack, réglable en profondeur, destiné à recevoir les caméras et autres capteurs. Un réglage en largeur devra également être possible grâce à la présence d'un rail motorisé, décrit à la fin de la section. À cet effet, plusieurs barres de fixation seront prévues et laissées nues. Elles pourront être utilisées directement avec les adaptations spécifiques aux capteurs (déjà disponibles avec ces derniers), ou par la fixation de l'axe motorisé pour automatiser les calibrations.

L'ensemble devra prendre la forme d'une cage de dimensions approximatives de 2 m × 2 m × 2 m. Cette configuration permettra un ajustement précis des alignements des capteurs dans les trois dimensions. Le support devra également être équipé de roulettes freinées afin de faciliter son déplacement. La hauteur globale sera définie de manière à permettre un travail en position debout et à simplifier la procédure de calibration.

Compte tenu des contraintes d'accès à la pièce d'installation, le support devra être livré démonté. Le montage ne sera pas inclus dans l'offre proposée et sera réalisé sur site par l'acheteur. Une notice de montage sera fournie. À titre informatif, une liste d'éléments nécessaires à la réalisation du support est fournie par la suite ; ces éléments sont donnés à titre indicatif et pourront être remplacés par des composants techniquement équivalents.

L'axe motorisé qui est mentionné plus haut doit être de type FUYU FPB30, ou techniquement équivalent. Il doit avoir une longueur de 1000mm, et être équipé d'un moteur à pas NEMA 17 ou techniquement équivalent. Le moteur NEMA 17 doit être asservi en boucle fermée, avec encodeur et contrôle via port série RS485, avec un protocole de communication ouvert (ex : Modbus). Il correspond par exemple à un moteur StepperOnline iCL42-RS08 ou techniquement équivalent. Le contrôleur doit en particulier être compatible avec le moteur pas à pas retenu, et permettre une communication via port série. L'alimentation du moteur doit aussi être incluse dans la proposition. Une alimentation de type TDK-Lambda DRB-100-24-1 ou techniquement équivalent est demandée. Elle doit en particulier être compatible avec le contrôleur moteur et le moteur pas à pas fournis, et présenter des protections contre surcharge, court-circuit ainsi qu'un réglage fin. Finalement, un convertisseur USB - port série doit être fourni. Ce module doit être convertible pour fonctionner en RS232 ou RS485. Des leds de communication doivent être présentes sur le module. Un module MOXA UPort 1150 ou techniquement équivalent est demandé. L'ensemble de ces éléments sont répertoriés à titre indicatif dans le tableau 1.

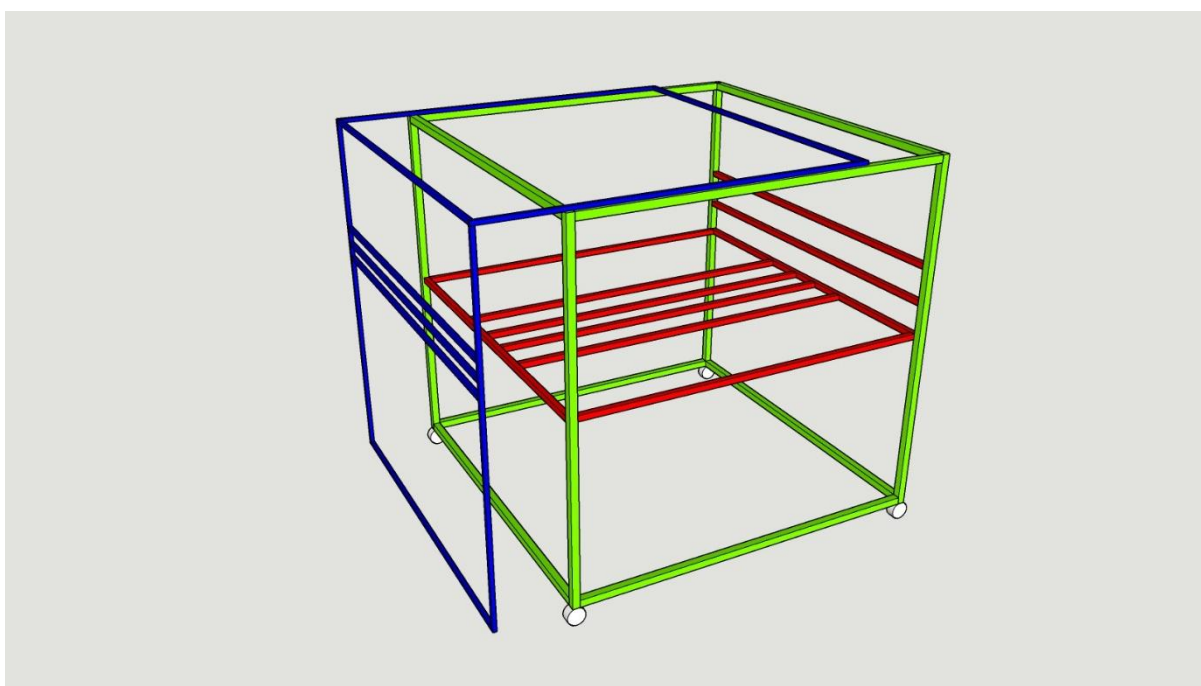


Figure 2 – Les trois parties du support : en vert des sections 40mm x 40mm, en rouge 30mm x 30mm, et en bleu 20mm x 20mm.

Tableau 1 - Liste et quantité des éléments nécessaires et suffisants pour le montage du support de calibration associé à la sphère intégrante. Les éléments proposés sont donnés à titre indicatif, avec une référence pour datasheet associée indicative. Tous les éléments peuvent être ceux indiqués ou techniquement équivalent. Cette liste inclut aussi les éléments nécessaires pour l'axe motorisé.

Description	Ref RADIOSPARE pour information et fiche technique	Qté
Profilé Aluminium Bosch Rexroth 40 x 40 mm x 2000mm	459-7205	12

Profilé Aluminium Bosch Rexroth 20 x 20 mm x 2000mm	212-3293	10
Profilé Aluminium Bosch Rexroth 30 x 30 mm x 2000mm	389-9780	10
Equerre de fixation Bosch Rexroth, profilé 40 mm, L. 25mm, filetage M8, rainure 10mm en Aluminium moulé (unité)	459-7328	10
Equerre de fixation Bosch Rexroth, profilé 40 mm, L. 40mm, filetage M8, rainure 10mm en Aluminium moulé (sachet de 10)	236-7199	3x10
Equerre de fixation Bosch Rexroth, profilé 30 mm, L. 30mm, filetage M6, rainure 8mm en Aluminium moulé (sachet de 10)	236-7194	4x10
Equerre de fixation Bosch Rexroth, profilé 20 x 20, profilé 6mm, L. 20mm, filetage M4, rainure 6mm en Aluminium moulé (sachet de 20)	267-0616	1x20
Roulettes fixes Bosch Rexroth en Plastique, Type MGE, Rainure 10mm, M12	686-7751	4
MOXA UPort 1150	255-2041	1
TDK-Lambda DRB-100-24-1	815-3146	1
Moteur StepperOnline iCL42-RS08		1
Axe FUYU FPB30 - Course 1000mm		1

2.2 Eléments techniques d'un contrôleur moteur haute précision

En complément de l'axe motorisé défini dans la première prestation supplémentaire décrite précédemment, une seconde prestation supplémentaire éventuelle est demandée. Il s'agit d'un contrôleur du moteur pas à pas plus précis. Le contrôleur devra être de type Newport ESP302-3N ou techniquement équivalent. Les caractéristiques techniques de communication, de programmation, de précision, de gamme de puissance et de protection devront être en particulier équivalentes à un contrôleur de type Newport ESP302-3N ou équivalent.

3 LIVRAISON, INSTALLATION ET DOCUMENTATION

Le titulaire assurera la livraison et l'installation de la source et des prestations supplémentaires éventuelles, si retenues lors de la notification par l'acheteur, sur le site du Cerema Centre-Est, sis 8 rue Bernard Palissy à Clermont-Ferrand.

Le titulaire devra réaliser une démonstration du bon fonctionnement du matériel objet de l'offre de base et des prestations supplémentaires éventuelles lors de la livraison.

Un manuel utilisateur de la source sera aussi fourni, ainsi que les manuels des autres matériels livrés avec.

Toutes les documentations nécessaires à l'utilisation, au fonctionnement, à la maintenance et à l'utilisation de l'appareillage, seront fournies impérativement en langue française ou anglaise lors de la livraison. La documentation devra contenir une description du mode opératoire pour le fonctionnement de l'appareil dont logiciel (pilotage du matériel, calibration, etc.). Elle précisera tous les conseils d'utilisation et de maintenance pour la bonne conservation du matériel.

4 GARANTIE

Le titulaire doit offrir un support technique accessible et une garantie pièces et main d'œuvre d'au moins un an à partir de la date d'admission du matériel (source et PSE si ces dernières sont levées).

Pendant cette période de garantie, le titulaire s'engage à effectuer, à titre gracieux, toutes les opérations qui s'avéreraient nécessaires pour le fonctionnement optimal du système. Les délais d'intervention ne devront pas excéder 72 heures à compter de la demande effectuée par courriel. Dans le cas où l'indisponibilité de la source calibrée serait supérieure à 10 jours, le titulaire mettra à disposition une source calibrée de remplacement strictement équivalente.

Cette garantie ne s'applique pas en cas de défaut constaté dû à une cause extérieure : accident, incendie, inondation, foudre, intervention non autorisée par une personne étrangère au Cerema.

