

Cahier des charges de l'équipement (FTIR et cryostat) pour la plateforme de test CAL-QUANTIX


		Date	01/07/2025	Signatures
		Nom du fichier	Cahier_des_charges_CAL_QUANTIX_DAp_vf	
		Auteurs	Christian Ketchazo	
			Thibault Pichon	
		Approbation	Olivier Boulade	
		Autorisation	Thibault Pichon	01/07/2025. 

Table des matières

Table des matières.....	2
1 Introduction	3
1.1 Contexte du besoin	3
1.2 Définition de la prestation	3
1.3 Objectifs scientifiques et schéma de principe.....	4
2 Caractéristiques techniques.....	5
2.1 Caractéristiques du FTIR	5
2.1.1 Caractéristiques techniques majeures	5
2.1.2 Bandes spectrales et résolutions	6
2.1.3 lame séparatrice.....	6
2.1.4 Détecteurs.....	7
2.1.5 Chambre d'échantillon	7
2.2 Interfaces	8
2.2.1 Mécanique	8
2.2.2 Optique	8
2.2.3 Électrique	8
2.2.4 Spécifications logicielles.....	9
2.2.5 Divers	9
2.3 Caractéristiques du cryostat	10
3 Tests, Garantie et livraison	10
3.1 Tests en usine.....	10
3.2 Essais sur le site du CEA.....	11
3.3 Garantie	11
3.4 Documentation à fournir.....	11
3.5 Formation des utilisateurs	11
3.6 Emballage et livraison.....	11
3.7 Réception de l'Équipement	11
3.8 Normes.....	11
3.9 Planning.....	11
4 Correspondants.....	12

1 Introduction

1.1 Contexte du besoin

Les développements instrumentaux pour l'astrophysique sont d'une importance majeure à la fois à l'échelle nationale et internationale. Les principaux laboratoires franciliens ont participé avec succès aux développements de plusieurs instruments au cours de ces 50 dernières années. Ces développements instrumentaux ont été menés avec le CNES (Centre National des Etudes Spatiales), l'ESA (European Space Agency) et la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

La calibration au sol d'un instrument fait partie intégrante des activités de développement. Ces étapes cruciales permettent d'acquérir une connaissance très fine de l'instrument. De plus, elles permettent de préparer l'exploitation scientifique une fois dans l'espace. Les calibrations sont donc réalisées sur les différents sous-systèmes qui constituent l'instrument. Par exemple quand des imageurs ou des spectromètres sont développés, les éléments optiques (miroir, lentilles, ...) et les détecteurs sont calibrés et/ou caractérisés.

Parmi tous les paramètres mesurés, l'efficacité quantique est un élément clef. Par définition, cette mesure absolue est une mesure difficile. Elle requiert l'utilisation de photodiode calibrée ou de connaître finement les caractéristiques optiques des filtres utilisés dans la mesure. L'utilisation d'un FTIR est donc un élément indispensable pour mesurer et calibrer de manière absolue des photodiodes ou la transmission des filtres.

Ce cahier des charges porte sur la définition des spécifications d'un Spectromètre à Transformée de Fourier, en anglais Fourier Transform InfraRed Spectrometer (FTIR) et d'un cryostat utilisé pour la mesure de transmission de filtres dénommé « l'Equipement » par la suite. Un schéma du principe de fonctionnement du banc est présenté ci-après.

1.2 Définition de la prestation

Le terme Equipement désigne un spectromètre à transformée de Fourier (FTIR) et un cryostat couplé au FTIR.

Les prestations se décomposent comme il suit :

La tranche ferme :

- La fourniture de l'Equipement incluant la documentation associée
- La fourniture du logiciel de pilotage associé à l'Equipement
- L'emballage et la livraison dans les locaux du CEA
- Les contrôles et tests en usine
- L'installation et la mise en service
- de l'Equipement dans les locaux du CEA
- La formation à l'utilisation de l'Equipement

- La garantie de l'Équipement pour une durée de 12 mois à compter de la réception définitive.

La tranche estimative sur bordereau de prix unitaires :

- La maintenance corrective pour une durée de 3 ans

1.3 Objectifs scientifiques et schéma de principe

Au travers de l'acquisition de cet équipement, trois objectifs scientifiques sont visés :

- Mesurer les propriétés spectrales et notamment la transmission des dispositifs optiques (filtres, fenêtres, ...) à leur température d'opération.
- Mesurer le spectre d'émission des sources et effectuer la calibration des sources
- Mesurer la réponse spectrale de détecteurs à leur température d'opération.

Ces objectifs sont illustrés sur la Figure 1.

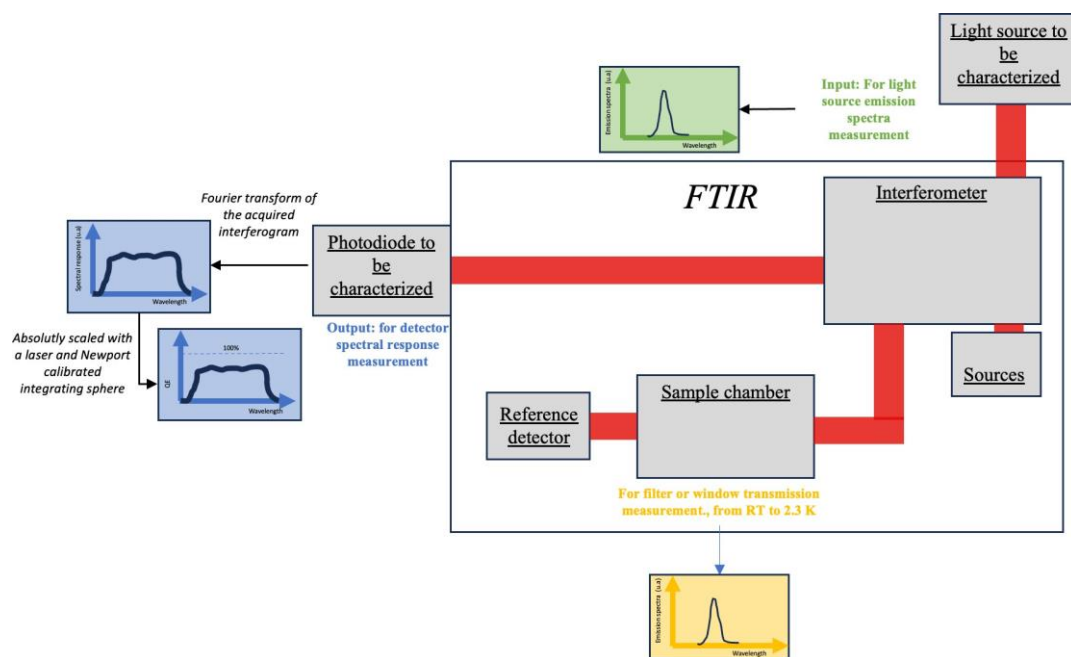


Figure 1 - Schéma de principe du banc de test

2 Caractéristiques techniques

L'équipement à acquérir est composé d'un spectromètre à transformée de Fourier et d'un cryostat. Le cryostat devra se coupler au FTIR pour la réalisation des mesures spectrales des composants optiques à basses températures.

Les principaux éléments qui composeront le FTIR sont :

- Un interféromètre,
- Un système optique stable, continuellement aligné
- Un compartiment échantillon
- Une ou plusieurs sources à spectres larges
- Un ou plusieurs détecteurs calibrés
- Au moins un port d'entrée et un port de sortie

2.1 Caractéristiques du FTIR

2.1.1 Caractéristiques techniques indispensables :

Les caractéristiques suivantes doivent impérativement être remplies. Si un soumissionnaire ne répond pas à l'une de ces exigences techniques du 2.1.1 son offre sera non conforme :

- Le FTIR doit permettre de couvrir un domaine spectral allant de : 0.4 μm à 20 μm comme bande nominale (objectif jusqu'à 30 μm). Cela comprend l'ensemble des éléments nécessaires à l'utilisation du FTIR (détecteur, source, lame séparatrice)
- Le FTIR doit proposer 3 modes de fonctionnement :
 - a. Rapid-scan avec un détecteur de référence (voir 2.1.4) pour les mesures de lignes de bases, de spectre d'émission, et les mesures de transmission
 - b. Rapid-scan avec un détecteur extérieur (voir section 2.2.3)
 - c. Step scan. Interféromètre fixe avec une synchronisation externe
- Le cryostat associé à l'équipement doit être amovible et doit permettre d'effectuer des mesures de transmission à des température allant de 4 K à 300 K.
- Les détecteurs de référence doivent être parfaitement connus (au % près)
- Le FTIR doit présenter au moins une sortie optique vers l'extérieur
- Le logiciel d'analyse des mesures doit être fourni.

Dans la suite, différents critères certains, reprenant les points mentionnés ci-dessus, sont détaillés.

Les caractéristiques indispensables ont été données dans la section 2.1.1.

Les spécifications qui suivent (du 2.1.2 au 2.3) consistent en des points importants mais non rédhibitoires qui permettent néanmoins de garantir les objectifs scientifiques de l'équipement. Il est fortement souhaitable que les soumissionnaires satisfassent au maximum de ces spécifications.

2.1.2 Bandes spectrales et résolutions

Le FTIR doit couvrir une bande spectrale allant de 400 nm à 30 μm (cible), avec comme fenêtre nominale [0.4, 20] (μm). La résolution souhaitée devra être meilleure que 0.4 cm^{-1} .

<i>Spécification 1</i>	Le FTIR doit permettre de couvrir un domaine spectral allant de : - 0.4 μm à 20 μm comme bande nominale - 0.4 μm à 30 μm comme bande étendue (Goal)
<i>Spécification 2</i>	La résolution spectrale meilleure que 0.4 cm^{-1} .

Au regard des bandes spectrales d'opération, l'environnement de travail devra être contrôlé pour éviter les perturbations liées à l'absorption de la lumière par la vapeur d'eau. Il est envisagé de l'utiliser sous pompage permanent ou avec circulation de gaz d'azote ou d'air sec. Les deux modes d'opérations devront être proposés.

<i>Spécification 3</i>	Le FTIR devra être compatible avec un fonctionnement sous vide (vide statique ou pompage permanent)
<i>Spécification 4</i>	L'équipement devra être compatible pour un fonctionnement sous circulation d'azote ou d'air sec.

Tous les éléments optiques et les composants devront donc être compatibles à un fonctionnement sous vide.

Il doit être possible via l'acquisition d'accessoires supplémentaires (détecteur, lame séparatrice, ...), d'étendre la gamme spectrale du FTIR vers le sub-millimétrique. Des facilités pour le stockage et le changement des éléments doivent être prévues dans le cas d'un changement de configuration.

2.1.3 Lame séparatrice

La/les lames séparatrices standards devra/devront être compatible(s) avec la configuration nominale (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et la configuration étendue (Goal). Elle(s) devra(ont) être(s) amovible pour permettre un échange ou un remplacement dans le

cadre d'un changement ou une extension de la bande spectrale notamment pour répondre aux opérations dans les bandes en option.

<i>Spécification 5</i>	La/les lame(s) séparatrice(s) devra(ont) être(s) compatible(s) avec les bandes spectrales nominale et étendue (Goal).
------------------------	---

2.1.4 Détecteurs

Les détecteurs approvisionnés avec le FTIR doivent être compatibles des bandes spectrales spécifiées (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les réponses spectrales des détecteurs doivent être connues et les certificats de mesure doivent être fournis. Les détecteurs doivent être livrés avec leur électronique de lecture et doivent être pilotable par soft. Ces détecteurs doivent être connus, en termes de réponse, de linéarité, et de comportement temporel.

<i>Spécification 6</i>	Les détecteurs doivent être compatibles avec la bande spectrale identifiée dans la configuration de la bande nominale. GOAL : ces détecteurs doivent être compatibles avec la bande étendue.
<i>Spécification 7</i>	La réponse spectrale des détecteurs doit être connue et le rapport de mesure doit accompagner la livraison du FTIR
<i>Spécification 8</i>	Les détecteurs doivent être fournis avec leur électronique de lecture

2.1.5 Chambre d'échantillon

La chambre d'échantillon devra permettre des mesures en transmission et en réflexion des échantillons. Il devra être possible d'interfacer, au niveau de la chambre d'échantillon, un cryostat pour réaliser les caractérisations des échantillons à froid et sous vide. La description et les spécifications du cryostat sont données au paragraphe 2.3

<i>Spécification 9</i>	La chambre échantillon doit pouvoir accueillir des échantillons d'un pouce
<i>Spécification 10</i>	Les mesures en transmission devront pouvoir être réalisées avec un faisceau collimaté et/ou avec un faisceau focalisé.
<i>Spécification 11</i>	La chambre utilisée pour les mesures en transmission doit pouvoir accueillir un cryostat.
<i>Spécification 12</i>	La chambre échantillon doit pouvoir accueillir un accessoire permettant d'effectuer des mesures en réflexion pour une future évolution du banc.

2.2 Interfaces

2.2.1 Mécanique

Suivant la Spécification **Erreur ! Signet non défini.**, Le FTIR devra disposer d'une interface (bride) pour pouvoir y connecter une pompe à vide via un tombac. Les moyens pour réaliser le vide (pompe, connecteurs, collier de serrage ...) devront être fournis.

Proposer une enveloppe maxi L x l x H

2.2.2 Optique

Le FTIR doit présenter :

- Au minimum une interface d'entrée pour l'injection de lumière dont l'ouverture doit être connue au degré près.
- Au minimum une sortie de faisceau délivrant un faisceau collimaté

<i>Spécification 13</i>	Le FTIR doit présenter au minimum une entrée avec une ouverture connue au degré près.
<i>Spécification 14</i>	Le FTIR doit présenter au minimum une sortie, délivrant un faisceau collimaté
<i>Spécification 15</i>	Le faisceau collimaté doit présenter une répartition uniforme meilleure que 1 %.
<i>Spécification 16</i>	Le faisceau collimaté devra avoir un diamètre minimal d'un pouce
<i>Spécification 17</i>	Les contenus spectraux du signal incident sur le détecteur de référence et de celui en sortie du spectromètre devront être connus au % près.
<i>Spécification 18</i>	Les caractéristiques optiques des différents éléments optiques doivent être fournies.
<i>Spécification 19</i>	La puissance optique sur la sortie de faisceau collimaté doit être supérieure à 1 mW/m2.

Le design optique doit être fourni.

2.2.3 Électrique

Un convertisseur A/D d'au moins 18 bits, doit être fourni, afin d'interfacer les mesures sur le détecteur à tester avec le fonctionnement du FTIR. Les données pourront alors être traitées par le logiciel du FTIR. Il faut que le FTIR présente une entrée numérique.

2.2.4 Spécifications logicielles

Le PC associé au FTIR sera fourni par le CEA (pour répondre aux exigences de sécurité du CEA). Les spécifications du PC seront en accord avec les besoins associés à l'opération du FTIR. Le logiciel de pilotage qui permet de faire fonctionner le FTIR sera livré par le fabricant.

<i>Spécification 20</i>	Le logiciel de pilotage du FTIR doit être livré avec l'équipement
<i>Spécification 21</i>	Les spécifications sur le PC et le matériel informatique devront être précisées par le fournisseur afin d'être compatible avec les opérations du FTIR
<i>Spécification 22</i>	Les algorithmes utilisés pour effectuer le traitement de données doivent être disponibles

2.2.5 Divers

Le maintien du bon alignement optique (quantifier ou faire référence à des données) est demandé pour garantir la stabilité, la qualité spectrale et les performances en résolution.

<i>Spécification 23</i>	<p>LE FTIR doit proposer 3 modes de fonctionnement :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rapid-scan avec un détecteur de référence (voir 2.1.4) pour les mesures de lignes de bases, de spectre d'émission, et les mesures de transmission 2. Rapid-scan avec un détecteur extérieur (voir section 2.2.3) 3. Step scan. Interféromètre fixe avec une synchronisation externe
<i>Spécification 24</i>	Les données brutes issues de l'acquisition doivent être accessibles.
<i>Spécification 25</i>	L'erreur d'échantillonnage spatial (scan du miroir) doit être connue.

Une documentation devra être fournie. Elle comprendra entre autres le manuel d'utilisation, le certificat de calibration ou le rapport de mesure (données des courbes) de la réponse spectrale du/des détecteur/s de référence, courbe de transmission spectrique de/des la/les lame(s) séparatrice(s).

Un service pour l'installation et une formation à la prise en main sur place sont souhaités.

Un service de maintenance comprenant entre autres une vérification des dérives et une recalibration du moyen devra être proposé par le fabricant et pourra être sollicité par le CEA par l'utilisation du bordereau de prix unitaire. L'ensemble de la fourniture du moyen devra être garanti au moins 1 an.

2.3 Caractéristiques du cryostat

Le cryostat devra permettre de couvrir une plage de températures allant de 4K à l'ambient avec une stabilité thermique de l'ordre de 0.1 K/10 min (TBC).

Interfaçage cryostat et FTIR

Ce cryostat doit être compatible avec les utilisations et l'opération du FTIR décrites dans les sections ci-dessus. Par ailleurs le cryostat doit pouvoir être enlevé et remis de la chambre échantillon.

<i>Spécification 26</i>	Il devra être possible d'interfacer le cryostat au FTIR directement au niveau du compartiment échantillon.
<i>Spécification 27</i>	Le cryostat doit être amovible.

La fenêtre et ces interfaces devront être changeables et remplaçables si le FTIR devrait être utilisé dans une bande spectrale autre que celle mentionnée en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Instrumentation thermique et environnement


Le cryostat devra disposer des moyens pour l'instrumentation thermique des échantillons à caractériser, le contrôle de l'environnement de la cellule de test et des niveaux des fluides réfrigérants. Les moyens de contrôles devront être fournis.

<i>Spécification 28</i>	Le cryostat associé au FTIR doit permettre d'effectuer des mesures de transmission de filtres allant de 4K à 300K
<i>Spécification 29</i>	Le cryostat doit permettre de contrôler la température de l'élément que l'on souhaite mesurer

3 Le fluide réfrigérant sera fourni par le CEA. Tests, Garantie et livraison

3.1 Tests en usine

Avant la livraison de l'Équipement sur le site du CEA, le Titulaire doit avoir fourni les rapports de tests effectués en usine attestant des spécifications techniques indiqués dans le cahier des charges.

	Cahier des charges CAL QUANTIX	Date : 17/04/2025 Page : 11
--	-----------------------------------	--

3.2 Essais sur le site du CEA

Le titulaire devra réaliser des essais de l'Équipement sur le site du CEA en présence du personnel du CEA.

3.3 Garantie

Une garantie de 12 mois pour les pièces et la main d'œuvre doit être incluse dans l'offre de base.

3.4 Documentation à fournir

Le Titulaire doit fournir les documents suivants :

- Le manuel d'utilisation et de maintenance pour les pannes de premier ordre en français
- le rapport des tests en usine notamment le certificat de calibration ou le rapport de mesure (données des courbes) de la réponse spectrale du/des détecteur/s de référence et la courbe de transmission spectrique de/des la/les lame(s) séparatrice(s).
- Un planning de livraison et d'installation sur le site du CEA

3.5 Formation des utilisateurs

La formation à l'utilisation de l'Équipement devra être assurée pour les utilisateurs de l'Équipement.

3.6 Emballage et livraison

Les équipements sont livrés franco de port et d'emballage au CEA Paris-Saclay Les équipements sont livrés franco de port et d'emballage au CEA Paris-Saclay (91).

3.7 Réception de l'Équipement

Le CEA prononce la réception définitive de l'équipement après livraison et mise en service, essais sur site du CEA Paris-Saclay (91) satisfaisants et vérification des spécifications techniques.

3.8 Normes

L'équipement doit répondre aux normes électriques en vigueur en France.

3.9 Planning

Livraison souhaitée au plus tard le 31 mars 2026.

4 Correspondants

Contact 1 :

Christian Ketchazo,
CEA-Orme des Merisiers
Département d'Astrophysique, Bâtiment 709
91191 Gif sur Yvette
christian.ketchazo@cea.fr
Tel. : +33 1 69 08 63 55

Contact 2 :

Thibault Pichon
CEA-Orme des Merisiers
Département d'Astrophysique, Bâtiment 709
91191 Gif sur Yvette
thibault.pichon@cea.fr
Tel. : +33 1 69 08 57 23