





CAMERA THERMIQUE MWIR (INFRAROUGE PROCHE)

SPECIFICATION TECHNIQUE DE BESOIN

	Rédigé par	Vérifié par	Approuvé par
Fonction	Ingénieur	Chef d'unité	Directeur de département
Nom	L. GAVERINA	JM. ROCHE	
Visa			

GEN-F172-1 (GEN-SCI-003)

HISTORIQUE

Version	Date	Description
1	30/07/24	Création

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION : PRESENTATION GENERALE DU BESOIN	4
1.1	EXPRESSION DU BESOIN	4
1.2	PRINCIPAUX CAS D'UTILISATION	4
2	DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS	4
2.1	DEFINITIONS	4
2.2	ABREVIATIONS	5
3	CAMERA THERMIQUE MWIR (INFRAROUGE MOYEN)	6
3.1	OBJET DE L'OPERATION	6
3.2	PRÉSENTATION DE L'EQUIPEMENT	6
3.3.1	Exigences fonctionnelles.....	6
	Exigences d'interfaces	8
3.3.2	Contraintes de mise en œuvre, d'utilisation et de maintenance	8
4	CONTRAINTES D'INSTALLATION ET D'AMENAGEMENT	9
5	CONTRAINTES DE CONTROLE EXPORT	9
6	RECETTES	9
7	RAPPEL DES LIMITES DE FOURNITURE	10
8	ANNEXE : MATRICE D'EXIGENCES	10

1 INTRODUCTION : PRESENTATION GENERALE DU BESOIN

1.1 EXPRESSION DU BESOIN

Cette demande répond au besoin du laboratoire CND&SHM du DMAS (Département Matériaux et Structures) de l'ONERA de se doter d'une caméra infrarouge fonctionnant dans la gamme de longueurs d'onde « MWIR » (Mid Wave InfraRed), à haute cadence (~ 350 Hz en mode pleine image) et adaptée aux mesures à hautes températures (jusqu'à 300°C). Son utilisation principale concerne l'inspection et la caractérisation de pièces composites et/ou métalliques afin d'en diagnostiquer l'état de santé.

1.2 PRINCIPAUX CAS D'UTILISATION

De façon plus exhaustive, les applications visées sont nombreuses :

- (1) le contrôle non-destructif de matériaux et structures par des méthodes de thermographie infrarouge active (excitation impulsionnelle ou créneau au moyen de lampes halogène ou équivalent) et de thermographie Laser (« Flying Spot ») ;
- (2) le diagnostic santé *in situ* d'échantillons soumis à des impacts mécaniques (basse vitesse), des impacts foudre ou des expositions au feu ;
- (3) la mesure de propriétés thermiques (diffusivité, effusivité, émissivité, conductivité, chaleur spécifique) en température ;
- (4) le suivi thermique de procédés d'élaboration.

La caméra pourra être utilisée pour l'étude de plusieurs types de matériaux, composites, céramiques ou métalliques. Le besoin d'une fréquence d'acquisition élevée est davantage lié aux applications de type suivi d'essais d'impacts (mécaniques ou foudre), associés à des phénomènes temporels très courts (inférieurs à la milliseconde).

2 DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS

2.1 DEFINITIONS

Fréquence d'acquisition des images

Cette grandeur caractérise la capacité à observer un événement rapide. C'est le cas soit lorsque les conductivités sont élevées (métaux, graphite...), soit lorsque les dimensions sont faibles (couches minces, interfaces...). Par exemple, une mesure de diffusivité thermique d'une plaque d'aluminium de 1 mm d'épaisseur nécessite une fréquence d'acquisition supérieure à 2 kHz.

Cette fréquence dépend du nombre de pixels inclus dans une image. Plus ce nombre est faible, plus cette fréquence peut être élevée. Elle dépend également de la résolution numérique du convertisseur analogique numérique. Celle-ci est habituellement de 16 bits, elle peut être abaissée à 8 bits (avec pertes d'informations) pour augmenter cette fréquence.

Résolution spatiale

Désigne la taille de l'image caméra, de format rectangulaire, en pixels : « $n \times m$ » (n, m étant des entiers désignant la dimension des côtés du rectangle).

Fenêtrage spatial

La taille et la position de la fenêtre d'acquisition peuvent être choisies par l'utilisateur pour diminuer la taille des enregistrements, augmenter la fréquence d'acquisition des images et définir une zone d'intérêt rectangulaire dans l'image.

Gammes de longueurs d'onde

On peut distinguer trois gammes de longueurs d'onde dans le domaine de l'infrarouge : la gamme $[1-3] \mu\text{m}$, qui correspond au proche infrarouge ; la gamme $[3-5] \mu\text{m}$, qui correspond au moyen infrarouge ; la gamme $[8-15] \mu\text{m}$, qui correspond à l'infrarouge lointain.

Sensibilité thermique – résolution de mesure

Plus la résolution de mesure est faible, plus on peut observer des signaux très peu différents. Cette valeur est à relier à l'ouverture optique et à la résolution numérique du convertisseur (en général 14 bits). Elle se mesure en mK et est souvent désignée en anglais par le terme NETD (cf. paragraphe 2.2).

2.2 ABREVIATIONS

CM	Contrainte de mise en œuvre, d'utilisation et de maintenance
DMAS	Département Matériaux et Structures
EF	Exigence fonctionnelle
EI	Exigence d'interface
IR	Infrarouge
LWIR	Long Wave InfraRed (infrarouge lointain)
(M)	Niveau d'exigence modulable, flexible, associée à une fonction non-indispensable
MCT	Capteur infrarouge composé de Mercure Cadmium et Tellure (HgCdTe)
MWIR	Mid-Wave InfraRed (moyen infrarouge)
NETD	Noise Equivalent Temperature Difference
(P)	Niveau d'exigence primordial associé à une fonction indispensable pour répondre au besoin
PSE	Prestation Supplémentaire Eventuelle
STB	Spécification Technique de Besoin
SWIR	Short Wave InfraRed (proche infrarouge)

3 CAMERA THERMIQUE MWIR (INFRAROUGE MOYEN)

3.1 OBJET DE L'OPERATION

L'opération consiste à livrer une caméra infrarouge MWIR ainsi que les optiques associées, les calibrations pour les différentes gammes de température visées, le logiciel d'acquisition et d'analyse, et les bibliothèques logicielles permettant d'adapter les fonctions de la caméra aux applications souhaitées. L'opération inclut également la formation à l'utilisation de la caméra et la maintenance de premier niveau.

L'opération comporte enfin la fourniture de toute la documentation technique de la caméra et son manuel utilisateur, sous format électronique, en anglais et/ou en français.

L'opération intègre les maintenances prédictives et préventives annuelles de cette machine en prestation supplémentaire éventuelle (PSE).

3.2 PRÉSENTATION DE L'EQUIPEMENT

Une caméra IR est constituée d'une optique, d'un détecteur IR, d'une électronique de numérisation et d'une électronique d'interfaçage. Cette caméra est toujours utilisée avec un moyen d'enregistrement des images obtenues, un ordinateur le plus souvent. Les contraintes de résolution thermique à température ambiante, imposées par notre besoin, nécessitent l'utilisation d'un détecteur IR refroidi.

Globalement, l'équipement est donc constitué de trois ensembles :

- (1) la caméra infrarouge ;
- (2) les optiques associées;
- (3) le système de pilotage et d'acquisition.

3.3 EXIGENCES SUR L'EQUIPEMENT

3.3.1 Exigences fonctionnelles

[EF_01] Gamme de longueurs d'onde MWIR (P)

Le détecteur de la caméra IR de type InSb doit *a minima* fonctionner dans la gamme de longueurs d'onde MWIR [3-5] μ m (bande II). Des gammes plus étendues, typiquement [2-5] μ m, sont acceptées.

[EF_02] Résolution spatiale minimale : 640x512 pixels (P)

La résolution spatiale de l'image fournie par la caméra IR en plein champ doit être *a minima* de 640x512 px. Une résolution « HD » 1280x1024 px est acceptée.

[EF_03] Fréquence d'acquisition minimale en plein champ : 350 Hz (P)

L'état de l'art est actuellement de l'ordre de 350 Hz pour une image de 640x512 pixels en résolution 14 bits. C'est la valeur minimale visée.

[EF_04] Fréquence d'acquisition minimale en mode « fenêtré » : 1000 Hz (M)

La valeur de la fréquence maximale atteignable, qui dépend du temps d'intégration / exposition, devra pouvoir dépasser les 1000 Hz en mode « fenêtré ».

En outre, la carte d'acquisition de la caméra IR devra être compatible avec les performances annoncées en termes de cadence d'acquisition d'images.

[EF_05] Résolution de mesure inférieure ou égale à 25 mK (P)

Cette grandeur (le NETD) dépend des temps d'intégration et de l'ouverture optique.

[EF_06] Objectifs optiques fournis (P)

Les objectifs fournis devront avoir une focale de 25 mm et de 50 mm, avec une monture de type M60.

Les gammes d'utilisation sont comprises entre 20 et 300°C.

[EF_07] Objectif avec un grandissement de type macro (P)

Un objectif avec un grossissement de 1 devra être fourni avec une distance de travail de 30 cm et une monture de type M60.

Les gammes d'utilisation sont comprises entre 20 et 300°C.

[EF_08] Synchronisation de l'acquisition de la caméra IR (P)

Le début d'un enregistrement d'une image ou d'un film, doit pouvoir être déclenché sur un signal extérieur (typiquement TTL-5V). Cette synchronisation doit permettre également la détection synchrone d'un signal analogique extérieur à la fréquence d'acquisition des images de la caméra IR (« lock-in »).

[EF_09] Connexion de la caméra IR (P)

Le logiciel d'acquisition doit être directement intégré au firmware de la caméra, de façon à ce que la caméra soit pilotable depuis n'importe quel ordinateur en se connectant à son adresse IP. Le pilotage de la caméra devra être effectué via un navigateur internet (protocole de type *http*).

[EF_10] Mémoire interne de la caméra (P)

Il doit être possible d'enregistrer les films infrarouges bruts sur un disque SSD de 1 To ou plus, intégré à la caméra infrarouge.

Exigences d'interfaces

[EI_01] Logiciel d'exploitation standard (P)

Ce logiciel doit permettre le réglage de toutes les fonctions de la caméra IR, de faire l'acquisition de film.

[EI_02] Bibliothèque de pilotage (P)

Cette bibliothèque doit permettre la connexion de la caméra IR, le réglage de toutes ses fonctions et de faire l'acquisition d'image ou de film. Ces fonctions seront accessibles par une interface écrite en langage C, python.

Le format de fichier de sauvegarde des films bruts doit être décrit complètement pour permettre une relecture par un outil tiers écrit dans les langages précédents.

[EI_03] Descriptif du format des fichiers de sortie de la caméra infrarouge (P)

La description complète du format de fichier des films sera fournie.

3.3.2 Contraintes de mise en œuvre, d'utilisation et de maintenance

[CM_01] Fourniture des certificats d'étalonnage (P)

L'étalonnage de la caméra IR est attendu pour chaque gamme de températures et pour chaque objectif.

[PSE_01] Le prestataire proposera un PC de pilotage et d'analyse associé à la caméra IR, avec logiciel(s) installé(s).

Les spécifications **minimales** attendues pour le PC sont les suivantes (un PC portable sera préféré si toutes les spécifications sont garanties) :

- Système d'exploitation 64bits : Windows 11.
- Processeur : Intel Core i9 ou équivalent
- Carte graphique NVIDIA GeForce GTX ou équivalent
- RAM : 16 Go
- Disque dur d'une capacité : 2 To
- Cartes et ports compatibles avec les performances souhaitées en termes de rapidité de dialogue avec la caméra IR (pour garantir notamment l'acquisition d'images à très haute cadence, en mode fenêtré)
- 1 port Giga Ethernet dédié à la connexion au réseau interne ONERA
- 1 port USB 3.0
- Taille d'écran : 15"

[CM_02] Fourniture d'un échancier des opérations détaillées de maintenance et classées par priorité (P)**[PSE_02] Le prestataire proposera, un contrat d'entretien prédictif et préventif pour une durée a minima égale à la durée de la garantie.****[CM_03] Fourniture d'un manuel d'utilisation et d'entretien (P)**

Il est demandé d'avoir ce manuel en format électronique et, éventuellement, papier.

[CM_04] Fourniture de la version française de ce manuel (M)

La version française du manuel d'utilisation et de la bibliothèque d'interfaçage de la caméra sera disponible au moins en format électronique.

[CM_05] Garantie de 2 ans sur le matériel (M), 1 an minimum (P)

La garantie porte sur la caméra IR et tous ses éléments constitutifs (mécaniques, électroniques), les objectifs optiques étalonnés et le PC de pilotage (dans le cas où la PSE [PSE_01] est retenue).

[CM_06] Garantie de 8 000 heures sur le fonctionnement du compresseur Stirling (M)

Cette garantie porte spécifiquement sur le compresseur Stirling utilisé pour le refroidissement de la caméra IR.

[CM_07] Formation des opérateurs ONERA (P)

Il est demandé une formation d'environ 2 jours pour un groupe de 5 personnes au maximum, ayant une base de connaissances théoriques en thermique mais pas nécessairement d'expérience de manipulation de caméras IR.

La formation inclura obligatoirement des sessions pratiques effectuées sur des échantillons fournis par l'ONERA, sur des installations expérimentales de l'ONERA.

4 CONTRAINTES D'INSTALLATION ET D'AMENAGEMENT

La livraison de la caméra IR est prévue sur le site de Châtillon de l'ONERA.

Aucune contrainte particulière d'installation ou d'aménagement n'est à noter, la caméra IR et l'ordinateur associé étant amenés à être utilisés dans des conditions d'environnement qui sont celles habituelles des laboratoires de mesures et de caractérisation.

5 CONTRAINTES DE CONTROLE EXPORT

[CM_08] Fourniture d'une licence d'utilisation dans le cadre de projets Défense si nécessaire (P)

Le fournisseur doit s'assurer de la possibilité d'utiliser l'équipement dans le cadre de projets Défense et demander une licence si nécessaire.

6 RECETTES

Les recettes font l'objet d'un cahier de recette renseigné par le prestataire (cf Marché).

Les essais de recette se font exclusivement à l'ONERA après installation. La caméra IR et ses optiques ainsi que tous les accessoires décrits par ailleurs dans le document sont livrés dans les locaux définis au paragraphe 4. Le fonctionnement de chaque élément est vérifié dans le cadre d'essais courts mais représentatifs. Seront notamment vérifiés :

- ✓ le bon fonctionnement de la caméra IR dans sa configuration nominale : acquisition d'un thermogramme à l'ambiante sur des plaques standard (aluminium, composite à matrice organique et céramique, par ex.) fournies par l'ONERA ;

- ✓ les niveaux de performances (résolution spatiale, fréquence d'acquisition, temps d'intégration) pour les gammes de température souhaitées ;
- ✓ le bon fonctionnement du logiciel de pilotage et d'acquisition.*

7 RAPPEL DES LIMITES DE FOURNITURE

- **A charge du prestataire :**

Livraison de la caméra IR et de ses optiques, fourniture des certificats d'étalonnage, des documentations techniques et de la liste des opérations de maintenance prédictive.

PC de pilotage dans le cas où la PSE [PSE_01] est retenue.

Licence d'utilisation dans un cadre « Défense » si nécessaire.

- **A charge de l'ONERA :**

Echantillons des essais de recette.

PC de pilotage dans le cas où la PSE [PSE_01] n'est pas retenue.

8 ANNEXE : RESUME DES EXIGENCES ET CONTRAINTES

LISTE DES EXIGENCES (fonctionnelles et d'interface)

[EF_01] Gamme de longueurs d'onde MWIR (P)	6
[EF_02] Résolution spatiale minimale : 640×512 pixels (P)	6
[EF_03] Fréquence d'acquisition minimale en plein champ : 350 Hz (P)	6
[EF_04] Fréquence d'acquisition minimale en mode « fenêtre » : 1000 Hz (M)	6
[EF_05] Résolution de mesure inférieure ou égale à 25 mK (P)	6
[EF_06] Objectifs optiques fournis (P)	7
[EF_07] Objectif avec un grandissement de type macro (P)	7
[EF_08] Synchronisation de l'acquisition de la caméra IR (P)	7
[EF_09] Connexion de la caméra IR (P)	7
[EF_10] Mémoire interne de la caméra (P)	7
[EI_01] Logiciel d'exploitation standard (P)	8
[EI_02] Bibliothèque de pilotage (P)	8
[EI_03] Descriptif du format des fichiers de sortie de la caméra infrarouge (P)	8

LISTE DES CONTRAINTES (de maintenance)

[CM_01] Fourniture des certificats d'étalonnage (P)	8
[CM_02] Fourniture d'un échéancier des opérations détaillées de maintenance et classées par priorité (P) 8	
[CM_03] Fourniture d'un manuel d'utilisation et d'entretien (P)	8
[CM_04] Fourniture de la version française de ce manuel (M)	8
[CM_05] Garantie de 2 ans sur le matériel (M), 1 an minimum (P)	8
[CM_06] Garantie de 8 000 heures sur le fonctionnement du compresseur Stirling (M)	9
[CM_07] Formation des opérateurs ONERA (P)	9
[CM_08] Fourniture d'une licence d'utilisation dans le cadre de projets Défense si nécessaire (P)	9

LISTE DES PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES

[PSE_01] Le prestataire proposera un PC de pilotage et d'analyse associé à la caméra IR, avec logiciel(s) installé(s). 8	
[PSE_02] Le prestataire proposera, un contrat d'entretien prédictif et préventif pour une durée a minima égale à la durée de la garantie.	8