



CAMERA THERMIQUE MWIR (INFRAROUGE MOYEN)

SPECIFICATION TECHNIQUE DE BESOIN

	Rédacteur	Vérificateur		Approbateur
Fonction	Ingénieur	Chef d'unité		Directeur de
Nom	Bastien Lammens	Julien Berthe		département
Visa				

GEN-F24-3 (GEN-SCI-003)

**HISTORIQUE**

Version Révision	Date de mise en application	Cause et/ou nature de l'évolution
1.0	31/03/25	Création
2.0	20/06/25	Modification1

## **SOMMAIRE**

1	OBJET.....	4
2	DOMAINE D'APPLICATION.....	4
3	DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS .....	4
4	PRESENTATION DU PRODUIT.....	5
4.1	MISSION .....	5
4.2	CONCEPTS PRINCIPAUX.....	5
4.3	PRINCIPAUX CONSTITUANTS .....	5
5	EXIGENCES .....	6
5.1	EXIGENCES FONCTIONNELLES .....	6
5.1.1	Fonction imagerie .....	6
5.1.2	Fonction commande & acquisition .....	6
5.1.3	Fonction stockage.....	7
5.1.4	Fonction transfert.....	7
5.2	EXIGENCES OPERATIONNELLES .....	7
5.2.1	Dimensions et Poids .....	7
5.2.2	Exigences d'interfaces : objectifs optiques.....	7
6	CONTRAINTES IMPOSEES .....	8
6.1	CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT .....	8
6.1.1	Contraintes de l'environnement sur le produit .....	8
6.2	CONTRAINTES LOGISTIQUES ET DE MISE EN ŒUVRE .....	8

## 1 OBJET

Les travaux menés par l'unité de recherche « Conception et Résistance Dynamique » (CRD) du Département Matériaux et Structures (DMAS) concernent essentiellement la problématique de la résistance des structures aéronautiques et spatiales aux sollicitations de dynamique rapide rencontrées lors de situations extrêmes tels que les crashes, impacts ou explosions. Les applications associées à cette problématique sont nombreuses et traitent de problèmes multi-échelle, de l'échantillon à la structure sur des temps parfois très courts (de l'ordre de la microseconde). La mesure de champs de température par thermographie infrarouge est de nos jours une technique largement répandue pour améliorer la compréhension des mécanismes d'endommagement des matériaux, qu'ils soient composites ou métalliques. En Mars 2024, un nouveau moyen d'essai a été reçu au sein du laboratoire d'essai pour caractériser l'abrasion de pièces métalliques et composites. L'objectif est d'améliorer la compréhension des mécanismes ayant lieu lors d'un d'atterrissage d'urgence train rentré d'un aéronef.

L'unité possède actuellement deux caméras infrarouges dont la dernière fut acquise en 2018. Cependant, bien que ce dernier achat permette de répondre à un besoin en termes de fréquence d'acquisition importante (jusque 100 kHz), la résolution spatiale maximale reste limitée (320\*256 pixels<sup>2</sup>) pour capturer l'ensemble des phénomènes lors de l'abrasion des pions. Par ailleurs, l'échauffement des pions dû à l'abrasion peut atteindre plus de 1000°C dans les zones proches du contact. Un gradient de température important entre la température ambiante et plus de 1000°C doit donc être mesuré sur plus de 15 millimètres à la surface de l'échantillon.

## 2 DOMAINE D'APPLICATION

Les différentes applications visées sont en priorité la mesure de l'échauffement des pions ou des disques utilisés lors d'essais d'abrasion, qu'ils soient notamment métalliques ou composites et ce, pour des essais des essais avec un temps de contact long (plusieurs secondes) ou court (inférieur à la seconde). Dans un second temps, la caméra infrarouge rapide serait utilisée pour couvrir une large gamme d'applications qu'elles soient quasi-statiques ou dynamiques, pour des échauffements qui conduisent à des gradients de température importants sur l'échantillon considéré. Ce constat a conduit à opter pour un produit qui mène aux caractéristiques précisées dans le présent document. Ce document présente les spécifications de la caméra. Les éléments de justification de la définition, ou de justification de spécification, sont rédigés en caractères *italiques couleur bleu*. Outre la caméra, ce document spécifie également les optiques demandés, les calibrations pour les différentes gammes de température, le logiciel d'acquisition et d'analyse, la formation et la maintenance.

## 3 DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS

(P)	Primordial et impérative
(M)	Modulable
CL	Centre de Lille
DJD	Dossier Justificatif de la Définition
DS	Direction des Souffleries
DMAS	Département Matériaux et Structures
STB	Spécification Technique de Besoin
NEDT	Noise Equivalent Delta Température
IR	Infra-Rouge
SWIR	Short-Wave Infrared / Infrarouge proche (longueur d'onde 1-3 µm)

MWIR	Medium-Wave Infrared / Moyen infrarouge (longueur d'onde 3-8 $\mu\text{m}$ )
LWIR	Long-Wave Infrared / Infrarouge lointain (longueur d'onde 8-15 $\mu\text{m}$ )
MCT	Capteur IR composé de Mercure Cadmium et Tellure (HgCdTe)
InSb	Capteur IR composé d'Indium et d'antimoine.

Les spécifications techniques sont déclinées suivant deux niveaux d'importance :

- (P) : fonction primordiale et impérative. Exigence ou spécification impérative dont l'existence et le niveau ne sont pas négociables.
- (M) : fonction modulable. Fonction importante mais non indispensable.

Numérotation des exigences :

[E\_xx] : exigence numéro xx, une exigence a vocation à être respectée voire dépassée. Ne pas atteindre une exigence peut mettre en cause la validité de la solution.

## 4 PRESENTATION DU PRODUIT

### 4.1 MISSION

La caméra IR aura dans l'unité DMAS/CRD deux utilisations principales : d'une part la détermination des propriétés thermiques d'un échantillon à partir des mesures de température lors d'un essai d'abrasion. D'autre part, la détermination indirecte de l'endommagement d'un échantillon au cours d'un chargement quasi-statique ou dynamique transitoire.

### 4.2 CONCEPTS PRINCIPAUX

Les fonctions principales du système sont les suivantes :

1. Fonction imagerie rapide
2. Fonction commande & acquisition
3. Fonction stockage
4. Fonction transfert

### 4.3 PRINCIPAUX CONSTITUANTS

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 le besoin, conduisent à l'utilisation de détecteur IR refroidi. Le système peut donc se subdiviser en 3 constituants principaux :

- **Un module "Imagerie"** (caméra) qui a pour objet de collecter le rayonnement infrarouge ;
- **Un module "Commande & acquisition"** (logiciel) qui est responsable du contrôle/commande de la caméra, de l'acquisition des images et données associées (de contexte, de monitoring relatives à l'instrument, ...).
- **Un module "Stockage"** (embarqué, amovible, optionnel) qui permettra de stocker un volume d'acquisitions supérieure à la capacité de la RAM caméra avant le transfert vers le PC d'acquisition ;

## 5 EXIGENCES

---

### 5.1 EXIGENCES FONCTIONNELLES

Pour satisfaire le besoin, le système devra réaliser les fonctions techniques qui suivent.

#### 5.1.1 Fonction imagerie

[E\_01] Le système comportera une caméra numérique infrarouge rapide avec un détecteur matriciel rapide fenêtrable de type MCT, SLS ou InSb (livrée sans objectif). 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. **(P)**

[E\_02] La réponse spectrale doit être comprise entre 3 $\mu$ m et 8 $\mu$ m, soit une caméra de type MWIR. **(P)**

[E\_03] La gamme de température mesurée doit être comprise entre la température ambiante et 1000°C sans filtre. **(P)**

[E\_04] La cadence dépend du nombre de pixel 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. La cadence devra atteindre au minimum 20000 images par seconde en résolution réduite supérieure à 256 pixels. **(P)**  
*Compris entre résolution du capteur et fréquence d'acquisition*

[E\_05] La résolution effective de la caméra sera au minimum de 14 bits. **(P)**  
*Contrainte de qualité des mesures.*

[E\_06] La résolution maximale de la caméra devra être supérieure ou égale à 640x512 pixels<sup>2</sup> à la cadence de 500 images par seconde. **(P)**  
*Cadence nécessaire pour l'étude des phénomènes quasi-statique et transitoires avec la meilleure résolution spatiale.*

[E\_07] Le temps d'exposition doit être ajustable quelle que soit la fréquence d'acquisition utilisée **(P)**  
*La haute cadence d'acquisition nécessite un temps d'exposition court pour réaliser des mesures quantitatives*

[E\_08] La sensibilité thermique devra être inférieure à 30 mK d'après la NEDT (Noise Equivalent Delta Temperature). **(P)**  
*Contrainte de qualité des mesures : une sensibilité élevée est nécessaire en raison du faible niveau de signal détecté pour des applications dont le temps d'exposition est court.*

#### 5.1.2 Fonction commande & acquisition

[E\_09] Fourniture d'un logiciel de contrôle de la caméra et d'acquisition compatible Windows 10 (64 bits), Windows 11 (64 bits) **(P)**

[E\_10] Fourniture d'un logiciel de contrôle de la caméra et d'acquisition compatible Linux (64 bits). **(M)**

[E\_11] Détection synchrone de la fréquence d'acquisition des images de la caméra infrarouge avec un signal analogique extérieur, telles qu'une force appliquée à une éprouvette pendant un essai mécanique. **(M)**  
*Synchronisation de la caméra avec d'autres systèmes de mesures.*

- [E\_12] L'électronique devra permettre un déclenchement de la caméra sur un pré ou un post trigger, (P)  
*Mise en œuvre de la caméra dans le laboratoire.*
- [E\_13] Le début d'un enregistrement d'une image ou d'un film, doit pouvoir être déclenché sur un signal extérieur (typiquement TTL-5V) ou sur une ouverture/fermeture d'un contacteur (P)  
*Synchronisation de la caméra avec d'autres systèmes de mesures.*
- [E\_14] Le signal extérieur (typiquement TTL-5V) doit pouvoir provenir d'une autre caméra (visible ou IR) (M)
- [E\_15] La caméra peut déclencher d'autres équipements périphériques par l'émission d'un signal TTL (P)  
*Synchronisation de la caméra avec d'autres systèmes de mesures.*

#### 5.1.3 Fonction stockage

- [E\_16] La fonction enregistrement permettra le stockage des images acquises par la caméra sur un dispositif de stockage non-volatile embarqué sur la caméra permettant de stocker au moins 10 GB (P)  
*Contrainte de productivité d'un essai industriel.*
- [E\_17] La mémoire de stockage devra être extensible à minimum 32 GB (M)  
*Evolution des capacités de la caméra.*

#### 5.1.4 Fonction transfert

- [E\_18] Format de sortie d'images brutes et traitées compatible avec les outils développés par l'unité aux langages Matlab, Python (P)  
*Développement d'outils spécifiques d'analyse*
- [E\_19] La caméra sera dotée d'une interface Ethernet (P)  
*Réduction du temps de transfert.*

### 5.2 EXIGENCES OPERATIONNELLES

#### 5.2.1 Dimensions et Poids

- [E\_20] Dimensions maximale L x l x h = 350 mm x 250 mm x 250 mm (hors objectif). (P)  
*Mise en œuvre de la caméra, encombrement.*
- [E\_21] Poids maximal de la caméra : 10 kg (hors objectif). (P)  
*Mise en œuvre de la caméra.*

#### 5.2.2 Exigences d'interfaces : objectifs optiques

Il est indispensable que chacun de ces objectifs soient étalonnés. Pour couvrir la large gamme de champ de visualisation, il est nécessaire d'avoir les objectifs suivants :

- [E\_22] un objectif de focale étalonné 25 mm. Un certificat d'étalonnage sera fourni pour l'objectif. (P).
- [E\_23] Un objectif de focale étalonné 50 mm. Un certificat d'étalonnage sera fourni pour l'objectif (P)
- [E\_24] Un objectif de focale étalonné 100 mm. Un certificat d'étalonnage sera fourni pour l'objectif (P)

## 6 CONTRAINTES IMPOSEES

---

### 6.1 CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT

#### 6.1.1 Contraintes de l'environnement sur le produit

- **Service normal**

[E\_25] La caméra doit être capable de fonctionner dans les conditions suivantes de pression et de température à 100 % des fonctions opérationnelles

Température : -10°C et +50°C, humidité 5 à 90% sans condensation **(M)**

### 6.2 CONTRAINTES LOGISTIQUES ET DE MISE EN ŒUVRE

- **Transport et manutention**

[E\_26] Fourniture d'une caisse de transport **(P)**.

*Caisse de transport : sécurité du matériel fragile, ainsi protégé pendant le transport.*

- **Stockage**

[E\_27] Le système devra pouvoir être stocké en respectant la gamme de température :

- Température de stockage : -20°C à +40°C **(P)**

[E\_28] Le système devra pouvoir être stocké en respectant la gamme d'humidité :

- Humidité : de 5 à 95% sans condensation **(M)**

- **Documentation support**

[E\_29] Fourniture d'un manuel utilisateur en anglais **(P)**

[E\_30] Fourniture d'un manuel utilisateur en français **(M)**.

[E\_31] Certificat d'étalonnage **(P)**.

*Suivi métrologique de l'équipement.*

- **Journée de test**

[E\_32] L'objectif de cette journée est de présenter le produit et de réaliser un ou plusieurs essais sur site **(P)**.

- **Garantie**

[E\_33] Garantie minimale : 24 mois **(P)**.

- **Formation**

[E\_34] Une formation pour 2 personnes sur site de Lille à la mise en œuvre de la caméra ainsi qu'à l'utilisation du logiciel de commande/acquisition sera réalisée **(P)**.

- **Délai de livraison**

[E\_35] Délai de livraison : 8 mois maximum à compter de la notification du marché **(P)**