



SYSTEME DE MOTION CAPTURE POUR DE LA MESURE DE DEPLACEMENT DANS LE CONTEXTE DE TESTS DE VIBRATIONS AU SOL D'AERONEFS

SPECIFICATION TECHNIQUE DE BESOIN

	Rédacteur	Vérificateurs		Approbateur
Fonction	Ingénieur électronicien	Responsable AQ étude	Responsable Unité ADSE	Responsable de l'étude
Nom	Adrien Renoult		A. Lepage	Cyrille Stéphan
Visa				

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

HISTORIQUE

Version Révision	Date de mise en application	Cause et/ou nature de l'évolution
1.0	05/05/2025	Création
2.0	26/06/2025	

SOMMAIRE

1	OBJET.....	3
2	DOMAINE D'APPLICATION.....	3
3	DOCUMENTS APPLICABLES ET DE RÉFÉRENCE	3
4	DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS	4
5	PRESENTATION DU PRODUIT.....	4
5.1	MISSION	4
5.2	PRESENTATION FONCTIONNELLE.....	5
5.3	CONCEPTS PRINCIPAUX.....	6
5.4	PRINCIPAUX CONSTITUANTS	6
6	EXIGENCES	7
6.1	EXIGENCES FONCTIONNELLES	7
6.2	EXIGENCES OPERATIONNELLES	8
6.3	EXIGENCES D'INTERFACES	8
7	CONTRAINTES IMPOSEES	9
7.1	CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT	9
7.2	CONTRAINTES DE CONCEPTION ET DE REALISATION	9
7.3	CONTRAINTES LOGISTIQUES ET DE MISE EN ŒUVRE	9
8	VERIFICATIONS ET EPREUVES DE RECEPTION.....	9
	ANNEXE A - TITRE	12

1 OBJET

Ce document décrit les spécifications fonctionnelles, opérationnelles et d'interface d'un système de mesure statique et dynamique par caméras pour les essais de vibrations au sol d'aéronefs.

2 DOMAINE D'APPLICATION

Dans le cadre de ses travaux en Dynamique des Structures Expérimentale, l'ONERA mène des essais de vibrations au sol d'aéronefs. Ces structures, dont la taille varie de celle du drone léger jusqu'à celle de l'A380, sont soumises à des forces dynamiques par l'intermédiaire de dispositifs appelés pots d'excitation. La mesure de la réponse vibratoire de la structure à ces forces se fait usuellement par un ensemble d'accéléromètres disposés sur tout l'aéronef.

Dans ce contexte, encouragée par les résultats des investigations menées dans la convention PHY GVT-NEXT [REF] sur les nouvelles techniques de mesure expérimentales, l'unité ADSE exprime le besoin de s'équiper d'un moyen de Motion Capture, basé sur un ensemble de caméras, qui permettrait de mesurer les réponses statiques et dynamiques de marqueurs posés sur l'aéronef.

3 DOCUMENTS APPLICABLES ET DE RÉFÉRENCE

Documents de référence :

Ce sont les documents qui sont utilisables comme support, bibliographie, etc. Ils sont repérés dans le texte par leur numéro dans la liste.

[DR1] Convention N° 2022-38 relative au projet GVT-NEXT <EJ
2103916210 GVT-NEXT Conv 2022-38 notifiée>

4 DÉFINITIONS ET ABRÉVIATIONS

GVT : Ground Vibration Testing (Essais de vibrations au sol en français)

STB : Spécification Technique de Besoin

ADSE : Aéroélasticité et Dynamique des Structures Expérimentales

API : Application Programming Interface

SDK : Software Development Kit

Les spécifications techniques sont déclinées selon 2 niveaux d'importance :

(P) : exigence ou spécification primordiale et impérative dont l'existence et le niveau ne sont pas négociables. Ne pas atteindre une exigence remet en cause la validité de la solution.

(M) : exigence ou spécification modulable dont l'existence et le niveau peuvent être négociables. La non-atteinte d'une telle exigence ou spécification ne remet pas en cause le besoin.

Numérotation des exigences :

[E_xxx] : exigence numéro xxx, une exigence a vocation à être respectée voire dépassée.

5 PRESENTATION DU PRODUIT

5.1 MISSION

La mission principale du système de Motion Capture est de mesurer la réponse vibratoire d'un aéronef, dans le cadre des GVT menés par ADSE. Lors de ces GVT, la structure est soumise à des sollicitations dynamiques par l'intermédiaire de pots d'excitation électrodynamiques. Ce forçage va engendrer des mouvements vibratoires à la structure testée ; les excitations et les réponses doivent être mesurées au cours de ces sollicitations par un système d'acquisition des signaux avec une fréquence d'échantillonnage compatible avec les phénomènes observés. Par la suite, les signaux entrée-sortie sont post-traités afin d'analyser le comportement dynamique de l'aéronef et d'identifier la base modale.

Jusque maintenant, les mouvements vibratoires de l'aéronef sont mesurés par un ensemble d'accéléromètres disposés sur la structure. La mission de ce système serait de remplacer ou de compléter ces accéléromètres par des marqueurs, dont les mouvements, appelés aussi trajectoires, seraient suivis par un ensemble de caméras.

5.2 PRESENTATION FONCTIONNELLE

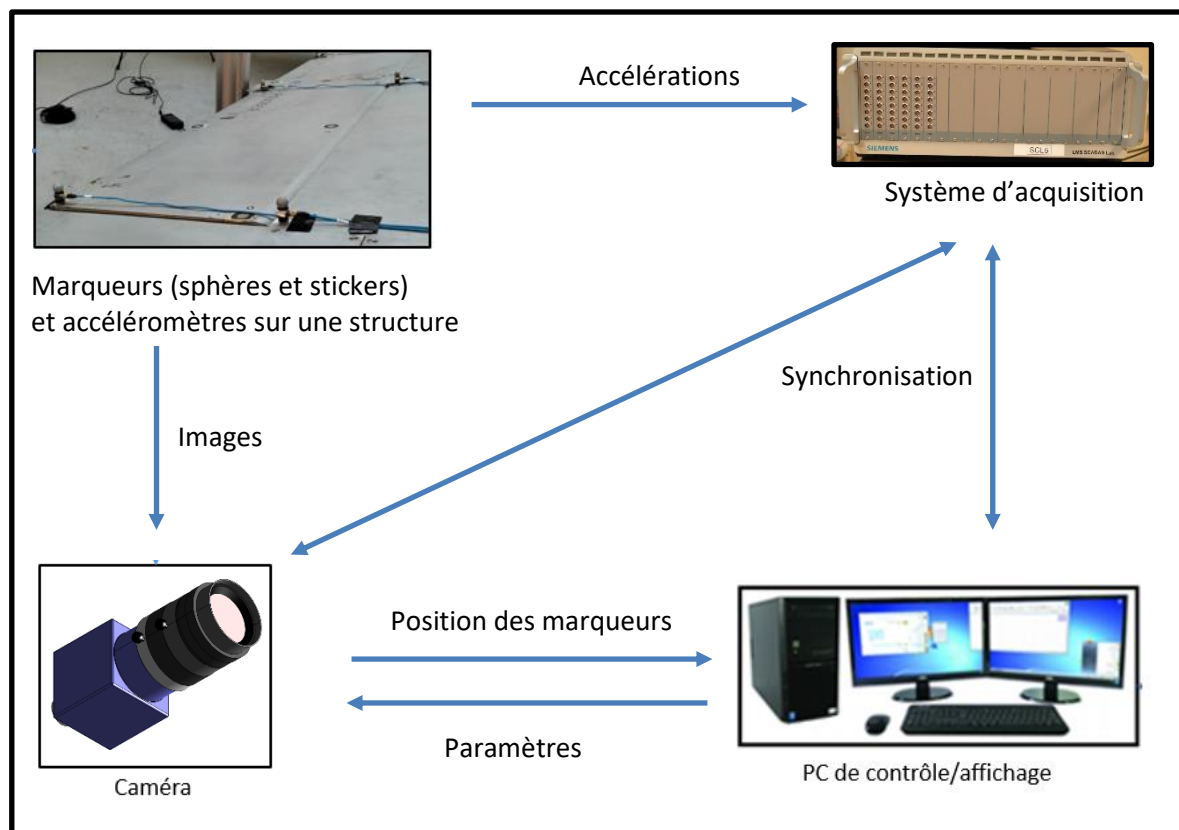


Figure 1 : Synoptique d'un système de Motion Capture intégré dans notre chaîne d'acquisition

Le synoptique d'un système de Motion Capture est indiqué à la Figure 1 et un exemple de mesure est présenté à la Figure 2. Comme on peut le voir sur le synoptique, des marqueurs, fixés sur la structure, représentent les points dont les mouvements dans l'espace sont mesurés par le système. Les caméras suivent les mouvements des marqueurs qu'elles observent. En supposant que chaque marqueur est vu par au moins 2 caméras, il est possible alors d'estimer sa trajectoire dans l'espace tridimensionnel (déplacements XYZ). L'acquisition des caméras peut être synchronisée avec une chaîne d'acquisition principale. Les échantillons de ces deux systèmes sont acquis en même temps.



Figure 2 : Morane Saulnier MS760 PARIS avec des sphères réfléchissantes et des accéléromètres prêts pour des mesures par motion capture

5.3 CONCEPTS PRINCIPAUX

- Motion capture
- Synchronisation de données avec d'autres systèmes d'acquisition
- Traitement et visualisation en temps-réel

5.4 PRINCIPAUX CONSTITUANTS

Le produit sera composé des éléments suivants :

- Un ensemble de caméras avec leur objectif
- Un éclairage si nécessaire

- Un lot de marqueurs,
- Un système de contrôle (PC + logiciel) et de synchronisation des données
- Un système de calibration
- Câblage
- Un ensemble de support pour les caméras
- Une documentation complète (version anglaise ou française),
- Des caisses de transport

6 EXIGENCES

6.1 EXIGENCES FONCTIONNELLES

- **Principe**

[EF_001] Le système de mesures doit permettre un enregistrement continu d'au moins 200 trajectoires de marqueurs en statique et dynamique dans les 3 axes pour chaque marqueur. La durée d'acquisition minimale doit être de 20mn. La fréquence d'échantillonnage doit être au minimum de 400 Hz sans perte d'échantillon. Les marqueurs sont répartis en 2 groupes contenus chacun dans une zone de 4x6m. Les zones sont éloignées de 20m. La mesure de déplacement est comprise dans une plage minimale d'amplitude allant de +/-0.01 mm à +/-50mm (**P**)

Ce principe doit permettre de définir le nombre de caméras, leur caractéristique et ce qui en découle en fonction de l'exigence [EF_001].

- **Synchronisation**

[EF_002] Fréquence d'acquisition réglable par valeurs discrètes (**P**)

[EF_003] Synchronisation de l'acquisition des données avec un autre système d'acquisition (**P**)

[EF_004] Le système doit pouvoir prendre en compte un signal de déclenchement externe avec un délai inférieur à 1/1000 de la période d'échantillonnage minimal (**M**)

[EF_005] Intégration d'un horodatage de type IRIG-B (analogique ou numérique) et/ou PTPv2 (**M**)

- **Visualisation**

[EF_006] Affichage en direct de courbes de suivi de trajectoires de marqueurs pendant l'enregistrement (**M**)

[EF_007] Affichage en direct d'au moins 20 courbes (**M**)

[EF_008] Fréquence de rafraichissement de l'affichage des courbes en direct ajustable (**M**)

[EF_009] Visualisation de marqueurs en temps réel (**M**)

[EF_010] Visualisation du flux vidéo hors enregistrement (**M**)

- **Caméras**

[EF_011] Fréquence minimale des caméras de 400 img/s (**P**)

[EF_012] Résolution minimale des caméras de 12 Mpixels (**P**)

[EF_013] Caméras avec traitement en interne pour la détection des marqueurs (**P**)

[EF_014] Caméras avec capteur proche infra-rouge (**P**)

[EF_015] Mise au point du focus des caméras motorisée, pilotable via le PC de contrôle (**P**)

[EF_016] Possibilité de gérer en même temps des caméras ayant des caractéristiques différentes (résolution par exemple) (P)

- **Marqueurs et détection**

[EF_017] Lot de 300 marqueurs sphériques en plastique réfléchissants proche infra-rouge (P)

[EF_018] Lot de 300 marqueurs adhésifs 2D réfléchissants proche infra-rouge (P)

[EF_019] Possibilité d'ajouter ou d'enlever des marqueurs en cours d'essai sans devoir refaire une calibration (P)

[EF_020] Fonctionnalité de reconnaissance d'un identifiant unique pour chaque marqueur (QR codes, lecture de caractères ou autre) (M)

[EF_021] Possibilité d'avoir des marqueurs actifs encodés (M)

- **Calibration**

[EF_022] Calibration en moins de 30min (P)

[EF_023] Détection d'une décalibration (mouvement caméras, perte de capteur, mouvement de l'objet principal, ...) après une pause dans une campagne d'essai (M)

[EF_024] Un seul PC principal pour gérer l'ensemble du système (M)

[EF_025] Si post-traitement nécessaire après la fin de la mesure, le temps pour ce traitement ne doit pas excéder le temps de la mesure (les données doivent être disponibles au bout du même temps que le temps d'acquisition) (P)

[EF_026] Capacité d'évolution du système pour intégration de besoins spécifiques ultérieurs (M)

6.2 EXIGENCES OPERATIONNELLES

- **Exigences de Sûreté de Fonctionnement**

[EO_001] Plage d'utilisation minimale de 16h sur une journée, pendant 60 jours d'affilée (P)

[EO_002] Portabilité des logiciels (si existants) sur tout PC (P)

[EO_003] Interchangeabilité des caméras (P)

- **Exigences sur la durée de vie**

[EO_004] Garantie de 48 mois pièce main d'œuvre et déplacement sur la partie informatique (PC + écran) (P)

[EO_005] Garantie de 1 an pièce main d'œuvre et déplacement pour le reste (P)

[EO_006] La durée de vie du système devra être au minimum de 10 ans (M)

[EO_007] Les pièces mécaniques de rechange devront être disponibles pendant au moins 15 ans. (M)

6.3 EXIGENCES D'INTERFACES

[EI_001] Longueur de câbles adaptée aux exigences de dimension des zones à analyser (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) qui seront à une hauteur de 2m. Les caméras devront être positionnées au-dessus pour l'analyse (P)

[EI_002] Un ou des système(s) de support des caméras doit être fourni et prévu pour une utilisation industrielle (P)

[EI_003] Système démontable et transportable (P)

[EI_004] Fourniture en sortie des mesures temporelles des trajectoires dans un format ouvert et documenté HDF5, MATLAB, UNV ou autre) (P)

[EI_005] Fourniture d'une API/SDK pour accéder au flux (M)

7 CONTRAINTES IMPOSEES

7.1 CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT

[ECE_001] L'équipement sera installé en intérieur dans une enceinte non climatisée.

Température d'utilisation : $5^{\circ} \leq T \leq 35^{\circ} \text{ C}$ (P)

[ECE_002] Travail dans un milieu avec lumière naturelle et/ou artificielle. Le lieu ne pourra pas être adapté pour améliorer les capacités du système (P)

[ECE_003] Les contraintes des essais interdisent de pouvoir modifier la texture de la surface analysée. Le système doit s'y adapter. On ne pourra ni cacher des reflets ni mettre des bâches pour masquer des zones. (P)

7.2 CONTRAINTES DE CONCEPTION ET DE REALISATION

[ECC_001] Alimentation secteur norme française (P)

7.3 CONTRAINTES LOGISTIQUES ET DE MISE EN ŒUVRE

• Transport et manutention

[ECL_001] Fourniture de caisses de transport pouvant contenir l'ensemble du système (P)

[ECL_002] La livraison des systèmes est à la charge du titulaire, soit à l'ONERA (site de MEUDON, 92) soit sur un site client en France métropolitaine mais hors région parisienne (P)

• Démonstration

[ECL_003] Toute entreprise ayant répondu devra effectuer une démonstration du système sur une cellule de Morane Saulnier MS760 PARIS (cf Figure 2) équipé d'accéléromètres et de capteurs de déplacement à l'ONERA Meudon après la fin de la période du marché public et avant de passer toute commande selon les exigences demandées dans le tableau en 8 (P)

• Mise en œuvre

[ECL_003] La mise en œuvre du système complet sera réalisée dans les locaux de l'ONERA MEUDON, lors d'une session de recette d'une journée minimum avec formation de 2 personnes (P)

• Documentation support

[ECL_004] L'ensemble de l'équipement sera fourni avec (M)

- un manuel de description technique et d'utilisation du dispositif
- un manuel d'installation (version anglaise ou française) et d'utilisation du logiciel,
- une documentation de maintenance et de calibration des caméras.

8 VERIFICATIONS ET EPREUVES DE RECEPTION

Ce chapitre doit spécifier les vérifications et les épreuves qui serviront à démontrer formellement au client que le produit répond aux exigences.

Spécifier, sous forme de tableau par exemple, pour chaque vérification, quelles sont les exigences qui sont vérifiées ainsi que les méthodes de vérifications.

Méthodes :

1- Essais

- 2- Études et simulations
- 3- Examens de documents
- 4- Contrôles

Exigences		Vérification	
§	Titre	Démonstration	Réception
	Définition du produit		
	Constitution du produit		3 + 4
	Exigences fonctionnelles		
	EF_001	1	1
	EF_002	1	1
	EF_003	1	1
	EF_004	3	1
	EF_005	3	1
	EF_006	1	1
	EF_007	1	1
	EF_008	1	1
	EF_009	1	1
	EF_010	1	1
	EF_011	1+3	1
	EF_012	1+3	1
	EF_013	1+3	1
	EF_014	1+3	1
	EF_015	1+3	1
	EF_016	3	1
	EF_017		1
	EF_018		1
	EF_019	1	1
	EF_020	3	1
	EF_021	3	1
	EF_022	1	1
	EF_023	1	1
	EF_024	3	1
	EF_025	1	1
	EF_026		1
	EO_001	3	3
	EO_002	3	1
	EO_003	3	1
	EO_004	3	3
	EO_005	3	3
	EO_006	3	3
	EO_007	3	3
	EI_001	2	1
	EI_002	2	1
	EI_003	3	1
	EI_004	1	1
	EI_005	3	1
	ECE_001	3	1
	ECE_002	1+2+3	1+2+3

STB d'un système de motion capture pour de la mesure de déplacement dans le
contexte de tests de vibrations au sol d'aéronefs

	ECE_003	2+3	2+3
	ECC_001	1+3	1+3
	ECL_001		4
	ECL_002		4
	ECL_003		4
	ECL_004		4

ANNEXE A - TITRE