





Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

**[STB] ACHAT D'UN SYSTEME DE MESURE PAR PIV BASSE CADENCE POUR DS****SPECIFICATION TECHNIQUE DE BESOIN**

	Rédacteurs	Vérificateurs				Approbateur
Fonction	Ref. & Ing. méthodes optiques	C.U. GI	Chef de projet GREENER PIV	AQ DSMA	Ing. Méthodes optiques DSFM	Directeur de programme
Nom	F. Paraz;L. Cochard	O. Guillerme	F. Lebrun	D. Ouillon	C. Peynot	G. Carrier
Date	09/10/2024	11/09/2024	11/09/2024	09/10/2024	09/10/2024	11/10/2024
Visa	FP, LC					GC

GEN-F24-2 (GEN-SCI-003)

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

HISTORIQUE

Version	Date de mise en application	Cause et/ou nature de l'évolution
0.1	16/09/2024	Création du document
1.4	11/10/2024	Bon pour diffusion vers DA
2.0	15/11/2024	Bon pour diffusion sur PLACE

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

SOMMAIRE

1	OBJET	5
2	DOMAINE D'APPLICATION.....	5
3	DOCUMENTS APPLICABLES ET DE REFERENCES.....	5
4	DEFINITIONS ET ABREVIATIONS.....	5
5	PRESENTATION DU PRODUIT	6
5.1	MISSION	6
5.2	PRESENTATION DE LA SOUFFLERIE S1MA	7
5.3	PRESENTATION FONCTIONNELLE	8
5.4	PRINCIPAUX CONSTITUANTS.....	9
5.5	SYSTEME DE GENERATION DE PARTICULES D'ENSEMENCEMENT	9
6	EXIGENCES.....	10
6.1	SYSTEME D'IMAGERIE : CAMERAS, MONTURES SCHEIMPFLUG ET MISE AU POINT PILOTABLE A DISTANCE	10
6.1.1	Exigences fonctionnelles	10
6.1.2	Exigences d'interface	11
6.1.3	Exigences d'environnement	12
6.1.4	Contraintes de conception et de réalisation	13
6.2	SYSTEME DE SYNCHRONISATION	13
6.2.1	Exigences fonctionnelles	13
6.2.2	Exigences d'interface	13
6.3	SYSTEME D'ILLUMINATION	14
6.3.1	Exigences fonctionnelles	14
6.3.2	Exigences opérationnelles	15
6.3.3	Exigences d'interface	15
6.3.4	Exigences d'environnement	15
6.3.5	Contraintes de conception et de réalisation	16
6.4	ORDINATEUR / LOGICIEL(S) / SDK	16
6.4.1	Exigences fonctionnelles	16
6.4.2	Exigences d'interface	16
6.5	INTEGRALITE DU SYSTEME DE MESURE PIV	18

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

6.5.1	Exigences opérationnelles	18
6.5.2	Contrainte d'environnement	18
6.5.3	Contraintes de conception et de réalisation	18
6.5.4	Contraintes logistiques et de mise en œuvre	18
7	PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES A CHIFFRAGE OBLIGATOIRE.....	19
8	PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES A CHIFFRAGE FACTULTATIF	19
9	VERIFICATIONS ET EPREUVES DE RECEPTION.....	21

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

1 OBJET

Ce document décrit les spécifications fonctionnelles, opérationnelles, et d'interface d'un système de vélocimétrie par images de particules basse cadence 2D3C (stéréo-PIV) « sur étagère » dont la DS souhaite faire l'acquisition. Les principaux utilisateurs sont le DSMA complété ponctuellement par le DSFM.

Les besoins du DSMA portent sur des mesures mises en œuvre sur des maquettes testées en souffleries industrielles, en particulier dans l'environnement de la soufflerie S1MA. La DS est familière avec les mesures PIV en soufflerie.

Le présent besoin ne prévoit pas de système de génération de particules d'ensemencement, déjà en possession du DSMA.

2 DOMAINE D'APPLICATION

Le présent document s'applique pour l'achat d'un système stéréo-PIV, incluant l'illumination. Il exclut un système de génération de particules d'ensemencement.

3 DOCUMENTS APPLICABLES ET DE REFERENCES

Documents applicables :

Afin de respecter le marquage CE et ainsi de permettre au matériel de respecter les exigences de santé et de sécurité, le système dont il est question dans le présent document doit satisfaire aux différentes directives européennes :

[DA_1] Directive basse tension 2014/35/EU

[DA_2] Directive CEM 2014/30/UE

[DA_3] Directive ROHS 2011/65/UE

Documents de référence :

Sans objet.

4 DEFINITIONS ET ABREVIATIONS

Doublé de pulses	Illumination pour une application d'acquisition d'images PIV basse cadence avec source d'illumination pulsée
DS	Direction des Souffleries

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

DSFM	Département des S ouffleries de F auga- M auzac
DSMA	Département des S ouffleries de M odane A vrieux
ONERA	O ffice N ational d' E tudes et de R echerches A érospatiales
PIV	P articule I mage V elocimetry (Vélocimétrie par Images de Particules)
PIV 2D3C	Mesure PIV avec une nappe de lumière d'une certaine épaisseur (restant dans l'hypothèse de bi-dimensionnel – 2D) permettant la mesure des trois composantes (3C) de la vitesse, utilisant deux caméras en montage stéréoscopique. Également appelée stéréo-PIV
Système de synchronisation	Équipement électronique qui gère la synchronisation du système d'illumination avec l'acquisition des images des caméras
Scheimpflug	Le principe de Scheimpflug est une description de la relation géométrique entre l'orientation du plan de mise au point, le plan de l'objectif, et le plan image d'un système optique (telle qu'une caméra) lorsque le plan de l'objectif n'est pas parallèle au plan image. Ici, la caméra d'acquisition d'images PIV est montée sur une monture appliquant le principe de Scheimpflug qui permet d'avoir une image nette sur tout le capteur lorsque la caméra a un angle avec le plan de mesure
SDK	Kit de développement logiciel (S ystem D evelopment K it) constituant un ensemble d'outils utilisés pour le développement de fonctionnalités logicielles notamment dans la gestion des équipements optiques et leurs données de sorties
HSE	H ygiène S écurité E nvironnement
Titulaire	Entité(s) chargée(s) de la réalisation des prestations

5 PRESENTATION DU PRODUIT

5.1 MISSION

Le système recherché doit permettre la mesure des champs de vitesse de l'écoulement autour des maquettes installées dans une veine d'essai de soufflerie. L'originalité de l'utilisation de ce système PIV vient de son utilisation dans des souffleries industrielles de tailles et de fonctionnements variés. En particulier, le système devra être capable de réaliser des mesures dans la soufflerie transsonique S1MA qui possède une veine de grande dimension, dont le champ de vitesse mesuré se localise entre une dizaine de centimètres à plusieurs mètres des matériels optiques d'acquisition d'images et d'illumination. Les types de mesure seront variés, allant des mesures de l'écoulement proche de la maquette (e.g. aile d'avion, hélice), à des mesures plus éloignées (e.g. sillage). Une attention particulière sera portée sur le nombre de systèmes d'imagerie PIV utilisable simultanément avec une même source d'illumination, la robustesse du système, les fonctionnalités d'analyse des données acquises, et les évolutions à courts et moyens termes vers des pilotages à distance des plans de mesure.

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

5.2 PRESENTATION DE LA SOUFFLERIE S1MA

Le site ONERA de Modane-Avrieux regroupe plusieurs souffleries. La première soufflerie construite à l'origine du site est la soufflerie S1MA. En service depuis 1951, la soufflerie S1MA est la plus grande soufflerie transsonique du monde : la vitesse du vent au niveau de sa veine d'essais de 8 m de diamètre et 14 m de long peut atteindre le nombre de Mach égal à 1.

La soufflerie S1MA dispose de 3 chariots interchangeable qui contiennent chacun la veine d'essai dans laquelle la maquette à tester est insérée (Figure 1).

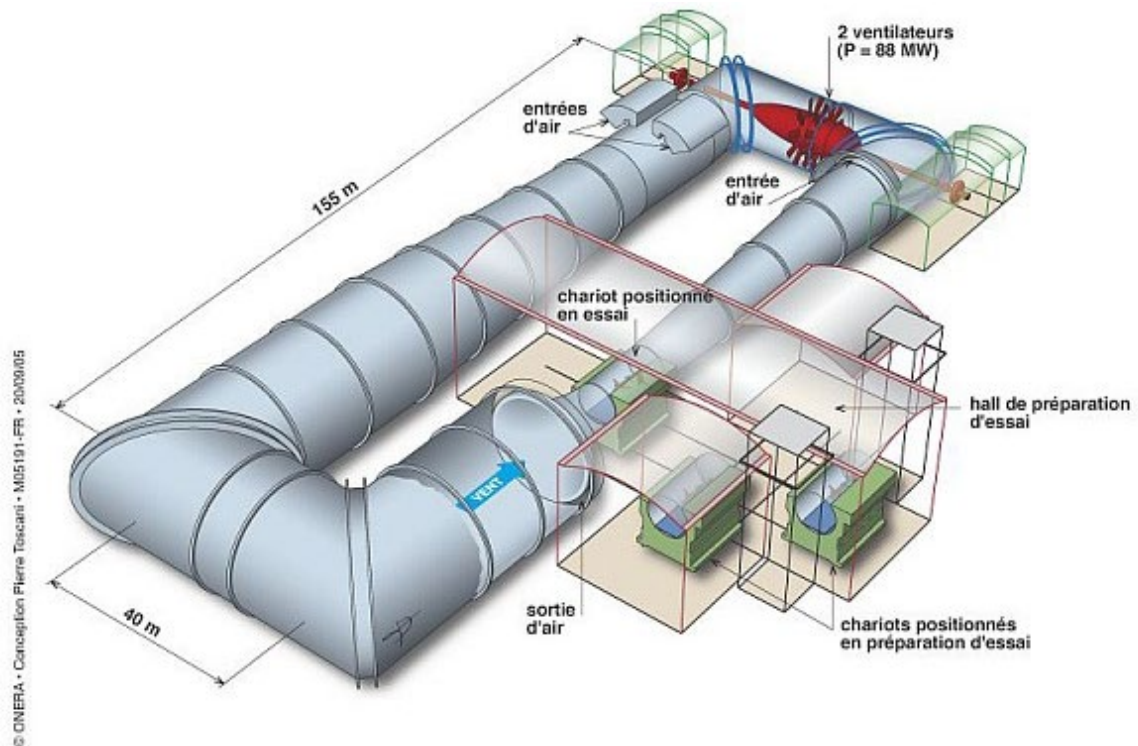


Figure 1 : Vue éclatée de la soufflerie S1MA.

Ces trois chariots ont des caractéristiques différentes et optimisent la productivité de la soufflerie avec des préparations d'essai en temps masqué par rapport à l'essai en cours de réalisation.

Chaque chariot est constitué des éléments principaux suivants :

- Une veine d'essai dans laquelle l'air est soufflé ;
- Un élément bas appelé caisson qui permet de soutenir la veine d'essai ;
- Un élément haut appelé cloche ;
- Des locaux à droite sens pilote et/ou à gauche sens pilote (DSP/GSP) selon le chariot à ~2 m au-dessus de l'axe de la veine, appelés chambres chariot.

Les chambres chariots sont à pression et température atmosphériques, en revanche les autres zones précédemment citées sont soit à pression atmosphérique (condition sans vent dans la veine d'essai), soit

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

en condition avec vent dans la veine d'essai. Les conditions environnementales seront décrites dans les exigences de cette spécification.

Le système PIV doit pouvoir être installé dans tous les chariots de S1MA. Les accès optiques, appelés hublots, sont nombreux mais de petites dimensions, et disposés uniquement à certaines hauteurs de veine (Figure 2). Ils permettent l'observation visuelle de la maquette testée, ou l'utilisation de techniques de mesures optiques, selon plusieurs angles différents (plancher, plafond, côtés DSP et GSP). **Les contraintes d'accès optique et d'opérabilité sont en dehors du périmètre de cette spécification, l'intégration particulière des équipements à l'environnement de S1MA n'est donc pas demandée.**



Figure 2 : *Vue d'une veine d'essai typique de la soufflerie S1MA, le vent circule du premier plan vers le second plan. La rangée de hublots visibles se situe à droite sens pilote.*

5.3 PRESENTATION FONCTIONNELLE

Le principe de l'utilisation du système PIV dans l'environnement soufflerie est donné à titre d'information uniquement (Figure 3).

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

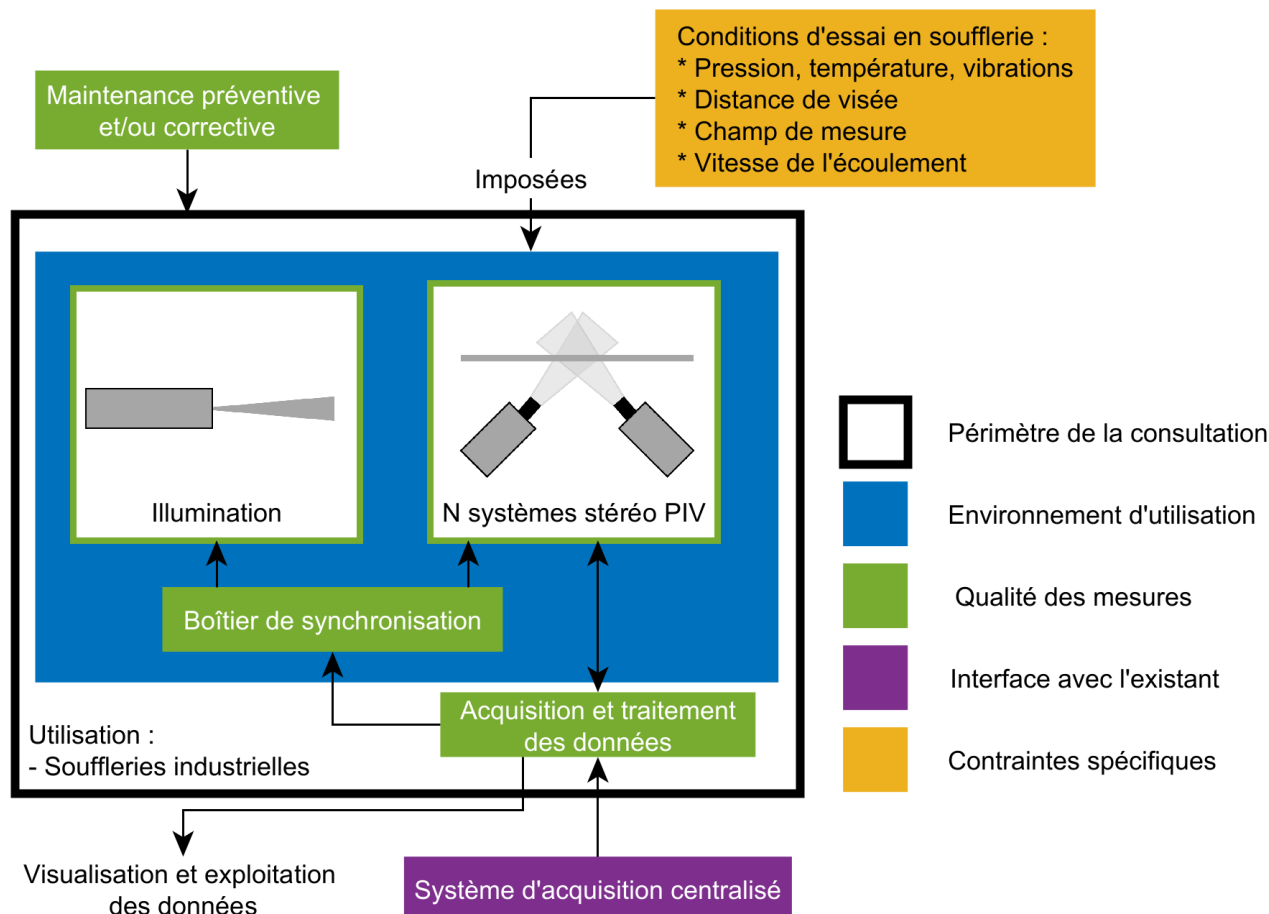


Figure 3 : Schéma de principe de l'utilisation du système PIV.

5.4 PRINCIPAUX CONSTITUANTS

La prestation concernée par le présent besoin doit inclure :

- Un système d'imagerie (caméras PIV double frame ; carte(s) d'acquisition ; montures Scheimpflug, pour 3 sous-systèmes d'imagerie PIV 2D3C) (§6.1) ;
- Un système de synchronisation (§6.2) ;
- Un système d'illumination (illuminateur et générateur de nappe) (§6.3) ;
- Le matériel informatique et/ou le logiciel d'exploitation et de traitement (§6.4) ;
- Les prestations éventuelles supplémentaires obligatoires (§7) et facultatives (§8).

5.5 SYSTEME DE GENERATION DE PARTICULES D'ENSEMENCEMENT

L'ONERA dispose déjà d'un système de génération de particules d'ensemencement de type tuyère de Laskin à l'huile végétale. La distribution des tailles de particules générées est centrée autour de 1 μm . **La fourniture du système de génération de particules d'ensemencement ne fait pas partie de ce**

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

besoin. Le Titulaire pourra émettre un avis sur la compatibilité de ce système avec le système PIV proposé.

6 EXIGENCES

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

- Exigence nommée [E_I_xx] avec I pour fonction **Impérative**. Exigence qui doit être respectée. L'existence et le niveau ne sont pas négociables.
- Exigence nommée [E_M_xx] avec M pour fonction **Modulable**. Exigence importante mais non obligatoire, associée à une fonction non indispensable.

[E_I_01] Le système PIV doit pouvoir réaliser des mesures 2D3C.

6.1 SYSTEME D'IMAGERIE : CAMERAS, MONTURES SCHEIMPFLUG ET MISE AU POINT PILOTABLE A DISTANCE

6.1.1 Exigences fonctionnelles

Caméras

[E_I_02] Les caméras doivent avoir deux modes de fonctionnement :

- i. Doublet d'images, pour la mesure PIV ;
- ii. Image unique, pour les réglages du système PIV.

[E_I_03] Les caméras doivent être des caméras numériques matricielles monochromes.

[E_I_04] Les caméras doivent avoir une définition supérieure ou égale à seize millions de pixels.

[E_I_05] Les caméras doivent être équipées d'un obturateur électronique global (global-electronic shutter).

[E_I_06] La plage dynamique du convertisseur analogique des caméras doit être supérieure ou égale à 12 bits.

[E_I_07] Le rendement quantique du détecteur des caméras doit être supérieur à 60 % à la longueur d'onde de l'intensité maximale du système d'illumination.

[E_I_08] La courbe de rendement quantique du détecteur des caméras doit être fournie sur la bande 400 à 1000 nm minimum.

[E_I_09] La fréquence maximale d'acquisition des images doit être, au minimum, de 10 Hz, en pleine résolution en 12 bits en mode doublet d'image (soit 10 doublets d'image acquis par seconde).

[E_I_10] Le temps d'intégration minimal des caméras doit être inférieur ou égal à 25 µs pour la première image du doublet.

[E_I_11] Le temps d'intégration maximal des caméras doit être supérieur ou égal à 1 seconde.

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_I_12] Le temps d'intégration de l'acquisition des images doit être réglable par l'utilisateur dans la limite acceptable de la fréquence d'acquisition paramétrée et dans le respect de [E_I_10] et [E_I_11].

[E_I_13] Le temps entre les images d'un doublet (temps interframe) des caméras doit pouvoir être paramétrable à partir de 0.5 μ s et au-delà.

[E_M_01] La région de mesure d'intérêt doit pouvoir être positionnée à différents endroits sur le capteur des caméras par l'utilisateur.

[E_I_14] Les caméras doivent être opérationnelles après leur mise sous tension sans intervention sur les caméras elles-mêmes.

Montures Scheimpflug

[E_I_15] Trois paires de montures Scheimpflug doivent être équipées d'un dispositif pilotable à distance du réglage d'angle autour de l'axe vertical uniquement, sur une plage minimale de $\pm 7^\circ$ à $\pm 0.1^\circ$.

[E_I_16] Trois paires additionnelles de montures Scheimpflug doivent être équipées d'un dispositif pilotable à distance du réglage d'angle autour des axes verticaux et horizontaux, sur une plage minimale de $\pm 7^\circ$ à $\pm 0.1^\circ$ sur chaque axe.

[E_I_17] Les montures Scheimpflug doivent être équipées d'un dispositif de mise au point et de réglage d'ouverture des objectifs pilotables à distance.

[E_I_18] Les montures Scheimpflug doivent pouvoir accueillir et piloter différents objectifs ayant des focales comprises entre 24 mm et 200 mm.

[E_I_19] Les montures Scheimpflug doivent être dotées d'une monture Canon EF, en respectant [E_I_17].

[E_I_20] Les montures Scheimpflug doivent être opérationnelles après leur mise sous tension sans intervention sur les montures Scheimpflug elles-mêmes.

6.1.2 Exigences d'interface

Caméras

[E_I_21] Les caméras doivent être équipées, a minima, d'un port de communication avec un ordinateur.

[E_I_22] Le(s) port(s) de communication d'une caméra doit(doivent) permettre le transfert des images acquises à pleine résolution et fréquence d'acquisition maximale correspondante sur 12 bits, sur une longueur de 25 m minimum entre la caméra et l'ordinateur, sans ajout de répéteur ou convertisseur.

[E_I_23] Le(s) câble(s) de communication entre la caméra et l'ordinateur doit(doivent) être fourni(s) avec une longueur minimale de 25 m.

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_I_24] Chaque caméra doit disposer d'un ou plusieurs trous taraudés compatibles avec le pas Congrès (diamètre 3/8 inch et pas = 16 tpi) ou pas Whitworth (pas Kodak) (diamètre = 1/4 inch et pas = 20 tpi).

Montures Scheimpflug

[E_I_25] Chaque monture Scheimpflug avec mise au point pilotable à distance doit être équipée, a minima, d'un port de communication avec un ordinateur.

[E_I_26] Le(s) port(s) de communication d'une monture Scheimpflug doit(doivent) permettre l'utilisation de câble d'une longueur de 25 m minimum entre la monture Scheimpflug avec mise au point pilotable à distance et l'ordinateur.

[E_I_27] Le(s) câble(s) de communication entre la monture Scheimpflug et l'ordinateur doit(doivent) être fourni(s) avec une longueur minimale de 25 m.

[E_I_28] Chaque monture Scheimpflug doit disposer d'un ou plusieurs trous taraudés compatibles avec le pas Congrès (diamètre 3/8 inch et pas = 16 tpi) ou pas Whitworth (pas Kodak) (diamètre = 1/4 inch et pas = 20 tpi).

6.1.3 Exigences d'environnement

[E_I_29] Les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs accessoires doivent pouvoir fonctionner normalement dans un environnement dont la température est comprise dans la gamme [0 ; +40] °C.

[E_M_02] En stockage (hors fonctionnement), les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs accessoires ne doivent pas subir de détérioration dans un environnement dont la température est comprise dans la gamme [-10 ; +60] °C. Leur remise dans un environnement de fonctionnement doit permettre leur plein fonctionnement.

[E_I_30] Les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs accessoires doivent pouvoir fonctionner normalement dans un environnement où la pression absolue de l'air est comprise dans la gamme [88 000 ; 110 000] Pa.

[E_M_03] Les caméras, leurs montures Scheimpflug et leurs accessoires doivent pouvoir fonctionner normalement dans un environnement où la pression absolue de l'air est comprise dans la gamme [20 000 ; 380 000] Pa.

[E_M_04] En stockage (hors fonctionnement), les caméras, leurs montures Scheimpflug et leurs éventuels équipements supplémentaires ne doivent pas subir de détériorations dans un environnement dont la pression absolue est comprise dans la gamme [20 000 ; 380 000] Pa. Leur remise dans un environnement de fonctionnement doit permettre leur plein fonctionnement.

[E_M_05] Les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs éventuels équipements supplémentaires doivent être protégés contre l'insertion de poussière (de type IP50).

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

6.1.4 Contraintes de conception et de réalisation

[E_I_31] Les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs accessoires doivent fonctionner quel que soit leurs orientations dans l'espace.

6.2 SYSTEME DE SYNCHRONISATION

6.2.1 Exigences fonctionnelles

[E_I_32] Le système de synchronisation doit pouvoir synchroniser les systèmes d'imagerie et d'illumination d'au moins trois paires de caméras pour de la mesure PIV 2D3C simultanément.

[E_I_33] Le système de synchronisation doit avoir une gigue (time jitter) inférieure à 1 ns entre ses différentes sorties.

[E_I_34] Les délais entre le(s) entrée(s) et les sorties du système de synchronisation doivent pouvoir couvrir la gamme de 50 ns à 1 s. Le pas de temps (résolution temporelle) doit pouvoir être inférieur ou égal à 10 ns.

[E_I_35] Le système de synchronisation doit être opérationnel après sa mise sous tension sans intervention sur le système lui-même.

6.2.2 Exigences d'interface

[E_I_36] Le système de synchronisation doit être équipé d'un ou plusieurs ports de communication avec un ordinateur.

[E_I_37] Chaque port de communication entre le système de synchronisation et l'ordinateur doit permettre l'utilisation de câbles d'une longueur de 25 m minimum entre le système de synchronisation et l'ordinateur.

[E_I_38] Chaque port de communication entre le système de synchronisation et les caméras (si applicable), ainsi que le système d'illumination, doit permettre l'utilisation de câbles d'une longueur de 25 m minimum.

[E_I_39] Chaque câble de liaison entre le système de synchronisation, l'ordinateur, le système d'illumination, et les caméras (si applicable) sera fourni avec une longueur minimale de 25 m.

[E_I_40] Le système de synchronisation doit pouvoir générer un signal de cadencement des équipements à partir d'une horloge interne.

[E_I_41] Le système de synchronisation doit être équipé, a minima, d'une entrée de déclenchement externe, qui déclenche les acquisitions (le signal de cadencement en sortie du système de synchronisation pouvant être généré à partir d'une horloge interne ou d'une entrée de cadencement externe).

[E_I_42] Le système de synchronisation doit être équipé, a minima, d'une entrée de cadencement externe, qui cadence les acquisitions (le signal de déclenchement pouvant être interne ou provenir d'une entrée externe).

[E_M_06] Le système de synchronisation doit être équipé d'une entrée d'horodatage IRIG-B ou PTP v2.

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_M_07] Un diagramme temporel des signaux du système de synchronisation nécessaire pour la maîtrise des ordres d'acquisition doit être inclus.

6.3 SYSTEME D'ILLUMINATION

6.3.1 Exigences fonctionnelles

[E_I_43] Le système d'illumination doit pouvoir être compatible avec les mesures PIV et respecter le fonctionnement du système d'imagerie, notamment dans la synchronisation (déclenchement et cadencement) des pulses lumineux.

[E_I_44] Le système d'illumination doit sortir ses faisceaux sur un seul et même axe optique.

[E_I_45] Le système d'illumination doit avoir une longueur d'onde d'émission en sortie de $532 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$.

[E_I_46] L'énergie maximale en sortie du système d'illumination doit être de $400 \pm 25 \text{ mJ}$ / pulse dans la plage de longueur d'onde d'émission $532 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$ et dans sa gamme de fonctionnement tel que décrit dans les exigences impératives.

[E_I_47] L'énergie en sortie du système d'illumination doit pouvoir être diminuée par l'utilisateur grâce à un atténuateur, lors des phases de réglage, pour être compatible avec les contraintes de sécurité HSE de travail avec des lunettes de réglage.

[E_I_48] La durée des pulses lumineux doit être inférieure ou égale à 12 ns à l'énergie maximale en sortie du système d'illumination.

[E_I_49] La stabilité de la valeur efficace de l'énergie pulse à pulse en sortie du système d'illumination doit être inférieure ou égale à 2 %.

[E_M_08] La stabilité de la valeur efficace de l'énergie des pulses en sortie du système d'illumination doit être inférieure ou égal à 5 % sur un fonctionnement continu d'une heure.

[E_I_50] Le système d'illumination doit pouvoir être cadencé (en doublet ou mono pulse) à une fréquence couvrant la gamme 0 à 10 Hz en synchronisation externe.

[E_I_51] La divergence du faisceau en sortie du système d'illumination doit être inférieure ou égale à 10 mrad.

[E_I_52] Le diamètre du faisceau en sortie du système d'illumination doit être inférieur ou égal à 12 mm.

[E_I_53] La stabilité de pointé du faisceau en sortie du système d'illumination doit être inférieure ou égale à $\pm 60 \text{ } \mu\text{rad}$ (correspondant au demi angle).

[E_I_54] Le temps entre les émissions du doublet de pulses doit être ajustable par l'utilisateur, et couvrir la gamme de 0.5 μs à 10 ms.

[E_I_55] Le système d'illumination doit disposer d'un dispositif permettant de bloquer mécaniquement l'illumination en sortie du faisceau lumineux (de type obturateur mécanique).

[E_I_56] Le système d'illumination doit comporter un système de génération de nappe compatible avec le système d'illumination (puissance de pulse, diamètre du faisceau à l'entrée du générateur

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

de nappe, etc.). Le système de génération de nappe doit pouvoir être i) déporté, et ii) déporté en dehors de l'axe optique initial du système d'illumination. Il doit inclure un système de fixation approprié.

[E_I_57] Le système de génération de nappe doit pouvoir générer une nappe utilisable pour des mesures 2D3C à des distances couvrant la gamme de 1 à 7 m pour des vitesses d'écoulement selon l'axe transversal pouvant atteindre 440 m/s. Le système de génération de nappe pourra comprendre plusieurs configurations pour couvrir cette gamme.

6.3.2 Exigences opérationnelles

[E_I_58] La durée de vie du système d'illumination doit être supérieure ou égale à 40 millions de pulses.

6.3.3 Exigences d'interface

[E_I_59] Le système d'illumination doit être équipé, a minima, d'un port de communication avec un ordinateur.

[E_I_60] Chaque port de communication entre le système d'illumination et l'ordinateur doit permettre l'utilisation de câbles d'une longueur de 30 m minimum.

[E_M_09] Le système d'illumination doit permettre le pilotage à distance de l'ouverture du dispositif permettant de bloquer mécaniquement la sortie des faisceaux par le logiciel (§6.4).

[E_M_10] La gigue (time jitter) entre le signal d'entrée et l'émission du pulse lumineux doit être inférieure ou égale à 10 ns.

[E_I_61] La partie génératrice de l'illumination doit pouvoir être séparée de son(ses) alimentation(s) pour former deux blocs distincts et transportables séparément. La distance entre le système d'illumination et son(ses) alimentation(s) doit pouvoir être de 3 m.

[E_I_62] Le système d'illumination doit respecter la norme EN60825-1 (si applicable).

6.3.4 Exigences d'environnement

[E_I_63] Le système d'illumination doit pouvoir opérer à son fonctionnement optimal dans un environnement où la température est comprise dans la gamme [+18 ; +28] °C.

[E_M_11] Hors fonctionnement, le système d'illumination ne doit pas subir de détériorations (matérielle et performance) dans un environnement dont la température est comprise dans la gamme [-10 ; +60] °C. Sa remise en environnement de fonctionnement doit permettre son plein fonctionnement.

[E_I_64] Le système d'illumination doit pouvoir opérer à son fonctionnement optimal dans un environnement où la pression absolue de l'air est comprise dans la gamme [88 000 ; 110 000] Pa.

[E_M_12] Le système d'illumination doit pouvoir fonctionner sans dégradation matérielle dans un environnement où la pression absolue de l'air est comprise dans la gamme [20 000 ; 380 000] Pa.

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_M_13] Hors fonctionnement, le système d'illumination ne doit pas subir de détériorations (matérielle et performance) dans un environnement dont la pression absolue est dans la gamme [20 000 ; 380 000] Pa. Sa remise en environnement de fonctionnement doit permettre son plein fonctionnement.

[E_M_14] Le système d'illumination proposé doit être protégé contre l'insertion de poussière (de type IP50).

6.3.5 Contraintes de conception et de réalisation

[E_M_15] Chaque alimentation du système d'illumination doit avoir pour dimensions maximales (longueur x largeur x hauteur) : 600 x 400 x 700 mm.

[E_M_16] Le système d'illumination sans son(ses) alimentation(s), doit avoir pour dimensions maximales (longueur x largeur x hauteur) : 950 x 600 x 400 mm.

[E_M_17] Le poids de chaque alimentation du système d'illumination doit être inférieur ou égal à 50 kg.

[E_M_18] Le poids du système d'illumination sans son(ses) alimentation(s) doit être inférieur ou égal à 30 kg.

6.4 ORDINATEUR / LOGICIEL(S) / SDK

6.4.1 Exigences fonctionnelles

[E_I_65] Le Titulaire doit fournir la liste et les spécifications requises pour l'achat de postes de travail associés à l'acquisition et au dépouillement du système PIV. Les spécifications du(des) poste(s) d'acquisition doivent permettre le pilotage, l'acquisition, et l'enregistrement des données d'a minima 3 systèmes PIV 2D3C simultanément. L'ONERA se charge d'approvisionner et préparer ces postes. Les postes de travail doivent pouvoir fonctionner sur Windows 11 Pro (64 bits). La liste des spécifications (non exhaustive) pour le(s) poste(s) d'acquisition et le poste de dépouillement contiendra processeur, RAM, stockage, nombre de ports PCIe, etc.

6.4.2 Exigences d'interface

[E_I_66] Le service des systèmes d'information de l'ONERA doit pouvoir être autonome pour réaliser l'installation et la configuration du(des) logiciel(s) du Titulaire et des logiciels Tiers.

[E_I_67] La documentation et les procédures nécessaires à la réinstallation du(des) logiciel(s), et la remise en route du système PIV doivent être fournies.

[E_I_68] Les seuls moyens de communication autorisés sont à base de technologies filaires. Les technologies sans fil, telles que WIFI ou la communication par radio sont interdites. Les moyens physiques de transmission de données « non filaires », s'ils ne peuvent pas être retirés, doivent être déclarés et désactivés.

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

- [E_I_69] Le(s) logiciel(s) du Titulaire doit(doivent) fonctionner hors réseau ou en réseau isolé, type réseau local d'entreprise. Aucune connexion externe n'est autorisée autre que celle vers le réseau isolé. Le(s) logiciels ne sera(seront) pas connecté(s) à l'internet, et pourra(pourront) être amené(s) à fonctionner dans des réseaux séparés ou à niveau de service réduit.
- [E_I_70] Le(s) logiciel(s) et le SDK fournis devront être compatibles avec le système d'exploitation Windows 11 Pro (64 bits).
- [E_I_71] Le système PIV doit être fourni avec un ou des logiciel(s) d'étalonnage, de pilotage des équipements, d'acquisition, et de sauvegarde des données permettant des acquisitions PIV 2D3C, qui doit(doivent) pouvoir être utilisé(s) simultanément a minima sur un poste informatique.
- [E_I_72] Le logiciel d'acquisition doit fournir une fonction de stockage / transfert des données acquises et des configurations d'acquisition utilisées vers un serveur de sauvegarde distant. A défaut d'une telle fonction, les données acquises doivent être compatibles avec un logiciel de sauvegarde que l'ONERA fournira.
- [E_I_73] Le système PIV doit être fourni avec un ou des logiciel(s) de post traitement des images PIV 2D3C, incluant, a minima, le traitement PIV stéréoscopique, qui doit(doivent) pouvoir être utilisés(s) simultanément a minima sur un poste informatique.
- [E_I_74] Les éventuelles mises à jour du(des) logiciel(s) doivent être transmises gratuitement pendant les cinq années suivant l'achat du système PIV.
- [E_I_75] Le(s) logiciel(s) de pilotage / d'acquisition du système PIV doit(doivent) permettre le déclenchement d'une acquisition.
- [E_I_76] Le(s) logiciel(s) de pilotage / d'acquisition du système PIV doit(doivent) permettre un export des données brutes des caméras.
- [E_I_77] Le Titulaire doit fournir un ou des outil(s) nécessaire(s) (type SDK, librairie, ou description de la structure des fichiers) permettant de lire les fichiers acquis (type images, métadonnées des paramètres d'acquisition) en C/C++.
- [E_M_19] Le Titulaire doit fournir un ou des outil(s) nécessaire(s) (type SDK, librairie, ou description de la structure des fichiers) permettant de lire les fichiers acquis (type images, métadonnées des paramètres d'acquisition) en Matlab.
- [E_M_20] Le Titulaire doit fournir un ou des outil(s) nécessaire(s) (type SDK, librairie, ou description de la structure des fichiers) permettant de lire les fichiers acquis (type images, métadonnées des paramètres d'acquisition) en Python.
- [E_M_21] L'export du(des) logiciel(s) d'acquisition et de traitement doit(doivent) être au format hdf5.
- [E_I_78] Les métadonnées des paramètres d'acquisition du système PIV doivent pouvoir être enregistrées.
- [E_I_79] Le Titulaire doit livrer le manuel d'utilisation du(des) logiciel(s) constructeur associé(s) au système PIV (étalonnage, pilotage des équipements, acquisition, et traitement d'acquisitions PIV 2D3C).

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

6.5 INTEGRALITE DU SYSTEME DE MESURE PIV

6.5.1 Exigences opérationnelles

[E_I_80] L'ensemble des éléments du système PIV doit être garanti pièces, main d'œuvre, et déplacement pour une durée de 2 ans.

[E_M_22] Le Titulaire doit assurer la disponibilité des pièces de rechange et la réparabilité de l'ensemble des éléments du système PIV pour une durée de supérieure ou égale à 10 ans.

6.5.2 Contrainte d'environnement

[E_I_81] L'ensemble des équipements du système PIV doit être compatible avec la norme du réseau électrique domestique en France. La liaison avec ce réseau doit s'effectuer par l'intermédiaire de prises de courant monophasé 230 V/50 Hz de type C, E, et F.

[E_I_82] L'ensemble des équipements du système PIV doit pouvoir fonctionner normalement sans condensation dans un environnement dont l'hygrométrie est comprise dans la gamme [5 ; 85] %.

6.5.3 Contraintes de conception et de réalisation

[E_I_83] L'ensemble des équipements du système PIV doit contenir des composants non soumis à la réglementation ITAR (International Traffic in Arms Regulations).

[E_M_23] L'ensemble des équipements du système PIV doit contenir des composants non soumis à la réglementation EAR (Export Administration Regulations).

Pour ces exigences, les activités de la DS à considérer sont les suivantes :

ONERA's mission: Developing and guiding research activities in the aerospace field; Designing, developing, and deploying the resources required to conduct this research. Note that research activities are conducted on the vectors themselves, not on the functionalized vectors.

6.5.4 Contraintes logistiques et de mise en œuvre

[E_M_24] Le délai de livraison de l'ensemble des équipements du système PIV doit être inférieur à 6 mois.

[E_I_84] L'ensemble des équipements du système PIV proposé doit être recetté sur les sites de l'ONERA Modane, **et de l'ONERA Fuga-Mauzac pour les épreuves en pression dans la gamme [240 000 ; 380 000] Pa (si applicable)**. Cette recette consistera en la vérification pratique, accompagnée d'une démonstration théorique si besoin, que l'ensemble des exigences est respecté.

[E_I_85] Une formation avancée, incluant la méthode de mesure et l'utilisation en soufflerie du système PIV (tels qu'étalonnage, acquisition, traitement, analyse), doit être organisée par le Titulaire (en accord avec l'ONERA) sur site de l'ONERA Modane pour six personnes, dans les six mois suivant la recette du matériel.

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

- [E_I_86] L'ensemble des équipements du système PIV hors ordinateur, doit être livré dans une (ou des) valise(s) de transport rigide équipée(s) de roulettes.
- [E_I_87] Une documentation technique comprenant le Manuel Utilisateur, les caractéristiques techniques, et, si besoin, le Manuel de Maintenance de l'ensemble des équipements du système PIV sera fournie en français ou anglais au format électronique et au format papier.
- [E_I_88] Une documentation technique complète décrivant les fonctionnalités du logiciel constructeur sera fournie en français ou anglais au format électronique et au format papier.
- [E_I_89] Un modèle CAO de l'enveloppe externe de l'ensemble des équipements du système PIV sera fourni au format non propriétaire IGES ou STEP à la notification du marché.

7 PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES A CHIFFRAGE OBLIGATOIRE

- [PSE_O_01] Extension de garantie pièces, main d'œuvre, et déplacements à 3 ans pour l'ensemble des équipements du système PIV.
- [PSE_O_02] Une paire de caméras pour des mesures stéréo PIV 2D3C supplémentaire, ainsi que les éventuels équipements supplémentaires nécessaires à son fonctionnement et acquisition (hors Scheimpflug), doit être proposée.
- [PSE_O_03] En complément de [E_I_71] et [E_I_73], le(s) logiciel(s) d'étalonnage, de pilotage des équipements, d'acquisition, de sauvegarde des données, et de post traitement des images PIV 2D3C, doit(doivent) pouvoir fonctionner simultanément sur un poste supplémentaire.
- [PSE_O_04] Une extension du logiciel de traitement PIV pour faire du calcul déporté sur deux ordinateurs a minima sur un réseau, fonctionnant sous Windows 11 Pro (64 bits) ; ou sur un cluster de calcul fonctionnant sous l'environnement Linux, doit être proposée.

8 PRESTATIONS SUPPLEMENTAIRES EVENTUELLES A CHIFFRAGE FACTULTATIF

- [PSE_F_01] En complément de [E_I_57], la focalisation doit pouvoir être pilotée à distance par le logiciel de pilotage du système. Le système de génération de nappe sera piloté à distance, depuis le PC qui sera placé à une distance supérieure ou égale de 30 m.
- [PSE_F_02] En complément de [E_I_61], la distance entre le système d'illumination et son(ses) alimentation(s) doit(doivent) pouvoir être a minima de 5 m.
- [PSE_F_02_bis] En complément de [E_I_61], la distance entre le système d'illumination et son(ses) alimentation(s) doit(doivent) pouvoir être a minima de 10 m.
- [PSE_F_03] Une mire d'étalonnage biface pour des acquisitions PIV 2D3C, de dimensions minimales de 40 x 40 cm, doit être proposée. La mire doit être compatible du système PIV proposé. La mire doit comprendre un ou des éléments permettant le montage mécanique de la mire. Si disponible, la mire sera livrée avec un certificat d'étalonnage.
- [PSE_F_04] Un système de translation de mire sur un axe sur une distance supérieure ou égale de 8 mm doit être proposé. Ce système doit être pilotable à distance sur une distance minimale de 20 m. Il doit être compatible d'une mire biface de dimensions minimales de 40 x 40

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

cm, afin de réaliser une calibration pour des acquisitions PIV 2D3C, compatible du système PIV proposé.

[PSE_F_05] Un mesureur de puissance dont les capacités de mesure sont adaptées aux caractéristiques du système d'illumination proposé (énergie, diamètre, fréquence des pulses, longueur d'onde, *etc.*) sera inclus.

[PSE_F_06] Sécurité HSE : Six paires de lunettes de protection et six paires de lunettes de réglage (dont au moins trois de chaque compatibles avec des lunettes de vue) doivent être incluses. Le niveau d'atténuation des lunettes de protection doit assurer un niveau de protection conforme à la législation en vigueur pour l'utilisation du système d'illumination proposé à son énergie maximale. Le niveau d'atténuation des lunettes de réglage doit permettre de réaliser des réglages d'alignement et de superposition des faisceaux sans risque pour l'opérateur. Si disponible, un système de sécurité Laser portatif de type interlock pilotable à distance s'interfaçant avec le logiciel d'acquisitions PIV sera également proposé.

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

9 VERIFICATIONS ET EPREUVES DE RECEPTION

Les méthodes de vérifications et d'épreuves de réceptions se feront par des essais (1), des examens de documents (2), et/ou des contrôles (3) des exigences. Toutes les opérations seront faites sur le site de l'ONERA Modane, **sauf dans le cas où le Titulaire répond avec une gamme de pression incluant des pressions supérieure à 240 000 Pa sur les exigences [E_M_03], [E_M_04], [E_M_12] et [E_M_13]. Dans ce cas, les exigences nécessiteront une vérification sur le site de l'ONERA Fauga-Mauzac.**

Exigence		Vérification	
Réf.	Titre	Qualification	Réception
Exigences fonctionnelles			
[E_I_01]	Le système PIV doit pouvoir réaliser des mesures 2D3C.	2	
[E_I_02]	Les caméras doivent avoir deux modes de fonctionnement :	2	1+3
[E_I_03]	Les caméras doivent être des caméras numériques matricielles monochromes.	2	1+3
[E_I_04]	Les caméras doivent avoir une définition supérieure ou égale à seize millions de pixels.	2	1+3
[E_I_05]	Les caméras doivent être équipées d'un obturateur électronique global (global-electronic shutter).	2	
[E_I_06]	La plage dynamique du convertisseur analogique des caméras doit être supérieure ou égale à 12 bits.	2	1+3
[E_I_07]	Le rendement quantique du détecteur des caméras doit être supérieur à 60 % à la longueur d'onde de l'intensité maximale du système d'illumination.	2	
[E_I_08]	La courbe de rendement quantique du détecteur des caméras doit être fournie sur la bande 400 à 1000 nm minimum.	2	
[E_I_09]	La fréquence maximale d'acquisition des images doit être, au minimum, de 10 Hz, en pleine résolution en 12 bits en mode doublet d'image (soit 10 doublets d'image acquis par seconde).	2	1+3

SANS MENTION DE PROTECTION

Spécification technique de besoin

22 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_I_10]	Le temps d'intégration minimal des caméras doit être inférieur ou égal à 25 μ s pour la première image du doublet.	2	1+3
[E_I_11]	Le temps d'intégration maximal des caméras doit être supérieur ou égal à 1 seconde.	2	1+3
[E_I_12]	Le temps d'intégration de l'acquisition des images doit être réglable par l'utilisateur dans la limite acceptable de la fréquence d'acquisition paramétrée et dans le respect de [E_I_10] et [E_I_11].	2	1+3
[E_I_13]	Le temps entre les images d'un doublet (temps interframe) des caméras doit pouvoir être paramétrable à partir de 0.5 μ s et au-delà.	2	1+3
[E_M_01]	La région de mesure d'intérêt doit pouvoir être positionnée à différents endroits sur le capteur des caméras par l'utilisateur.	2	1+3
[E_I_14]	Les caméras doivent être opérationnelles après leur mise sous tension sans intervention sur les caméras elles-mêmes.	2	1+3
[E_I_15]	Trois paires de montures Scheimpflug doivent être équipées d'un dispositif pilotable à distance du réglage d'angle autour de l'axe vertical uniquement, sur une plage minimale de $\pm 7^\circ$ à $\pm 0.1^\circ$.	2	1+3
[E_I_16]	Trois paires additionnelles de montures Scheimpflug doivent être équipées d'un dispositif pilotable à distance du réglage d'angle autour des axes verticaux et horizontaux, sur une plage minimale de $\pm 7^\circ$ à $\pm 0.1^\circ$ sur chaque axe.	2	1+3
[E_I_17]	Les montures Scheimpflug doivent être équipées d'un dispositif de mise au point et de réglage d'ouverture des objectifs pilotables à distance.	2	1+3
[E_I_18]	Les montures Scheimpflug doivent pouvoir accueillir et piloter différents objectifs ayant des focales comprises entre 24 mm et 200 mm.	2	1+3
[E_I_19]	Les montures Scheimpflug doivent être dotées d'une monture Canon EF, en respectant [E_I_17].	2	1+3

SANS MENTION DE PROTECTION

Spécification technique de besoin

23 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_I_20]	Les montures Scheimpflug doivent être opérationnelles après leur mise sous tension sans intervention sur les montures Scheimpflug elles-mêmes.	2	1+3
[E_I_21]	Les caméras doivent être équipées, a minima, d'un port de communication avec un ordinateur.	2	
[E_I_22]	Le(s) port(s) de communication d'une caméra doit(doivent) permettre le transfert des images acquises à pleine résolution et fréquence d'acquisition maximale correspondante sur 12 bits, sur une longueur de 25 m minimum entre la caméra et l'ordinateur, sans ajout de répéteur ou convertisseur.	2	3
[E_I_23]	Le(s) câble(s) de communication entre la caméra et l'ordinateur doit(doivent) être fourni(s) avec une longueur minimale de 25 m.	2	
[E_I_24]	Chaque caméra doit disposer d'un ou plusieurs trous taraudés compatibles avec le pas Congrès (diamètre 3/8 inch et pas = 16 tpi) ou pas Whitworth (pas Kodak) (diamètre = 1/4 inch et pas = 20 tpi).	2	3
[E_I_25]	Chaque monture Scheimpflug avec mise au point pilotable à distance doit être équipée, a minima, d'un port de communication avec un ordinateur.	2	
[E_I_26]	Le(s) port(s) de communication d'une monture Scheimpflug doit(doivent) permettre l'utilisation de câble d'une longueur de 25 m minimum entre la monture Scheimpflug avec mise au point pilotable à distance et l'ordinateur.	2	3
[E_I_27]	Le(s) câble(s) de communication entre la monture Scheimpflug et l'ordinateur doit(doivent) être fourni(s) avec une longueur minimale de 25 m.	2	
[E_I_28]	Chaque monture Scheimpflug doit disposer d'un ou plusieurs trous taraudés compatibles avec le pas Congrès (diamètre 3/8 inch et pas = 16 tpi) ou pas Whitworth (pas Kodak) (diamètre = 1/4 inch et pas = 20 tpi).	2	3
[E_I_29]	Les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs accessoires doivent pouvoir fonctionner normalement dans un environnement dont la	2	1+3

SANS MENTION DE PROTECTION

Spécification technique de besoin

24 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

température est comprise dans la gamme [0 ; +40] °C.

[E_M_02]	En stockage (hors fonctionnement), les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs accessoires ne doivent pas subir de détérioration dans un environnement dont la température est comprise dans la gamme [-10 ; +60] °C. Leur remise dans un environnement de fonctionnement doit permettre leur plein fonctionnement.	2	1+3
[E_I_30]	Les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs accessoires doivent pouvoir fonctionner normalement dans un environnement où la pression absolue de l'air est comprise dans la gamme [88 000 ; 110 000] Pa.	2	1+3
[E_M_03]	Les caméras, leurs montures Scheimpflug et leurs accessoires doivent pouvoir fonctionner normalement dans un environnement où la pression absolue de l'air est comprise dans la gamme [20 000 ; 380 000] Pa.	2	1+3
[E_M_04]	En stockage (hors fonctionnement), les caméras, leurs montures Scheimpflug et leurs éventuels équipements supplémentaires ne doivent pas subir de détériorations dans un environnement dont la pression absolue est comprise dans la gamme [20 000 ; 380 000] Pa. Leur remise dans un environnement de fonctionnement doit permettre leur plein fonctionnement.	2	1+3
[E_M_05]	Les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs éventuels équipements supplémentaires doivent être protégés contre l'insertion de poussière (de type IP50).	2	
[E_I_31]	Les caméras, leurs montures Scheimpflug, et leurs accessoires doivent fonctionner quel que soit leurs orientations dans l'espace.	2	1+3
[E_I_32]	Le système de synchronisation doit pouvoir synchroniser les systèmes d'imagerie et d'illumination d'au moins trois paires de caméras pour de la mesure PIV 2D3C simultanément.	2	1+3

SANS MENTION DE PROTECTION

Spécification technique de besoin

25 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_I_33]	Le système de synchronisation doit avoir une gigue (time jitter) inférieure à 1 ns entre ses différentes sorties.	2	
[E_I_34]	Les délais entre le(s) entrée(s) et les sorties du système de synchronisation doivent pouvoir couvrir la gamme de 50 ns à 1 s. Le pas de temps (résolution temporelle) doit pouvoir être inférieur ou égal à 10 ns.	2	
[E_I_35]	Le système de synchronisation doit être opérationnel après sa mise sous tension sans intervention sur le système lui-même.	2	1+3
[E_I_36]	Le système de synchronisation doit être équipé d'un ou plusieurs ports de communication avec un ordinateur.	2	
[E_I_37]	Chaque port de communication entre le système de synchronisation et l'ordinateur doit permettre l'utilisation de câbles d'une longueur de 25 m minimum entre le système de synchronisation et l'ordinateur.	2	1+3
[E_I_38]	Chaque port de communication entre le système de synchronisation et les caméras (si applicable), ainsi que le système d'illumination, doit permettre l'utilisation de câbles d'une longueur de 25 m minimum.	2	1+3
[E_I_39]	Chaque câble de liaison entre le système de synchronisation, l'ordinateur, le système d'illumination, et les caméras (si applicable) sera fourni avec une longueur minimale de 25 m.	2	1+3
[E_I_40]	Le système de synchronisation doit pouvoir générer un signal de cadencement des équipements à partir d'une horloge interne.	2	1+3
[E_I_41]	Le système de synchronisation doit être équipé, a minima, d'une entrée de déclenchement externe, qui déclenche les acquisitions (le signal de cadencement en sortie du système de synchronisation pouvant être généré à partir d'une horloge interne ou d'une entrée de cadencement externe).	2	1+3
[E_I_42]	Le système de synchronisation doit être équipé, a minima, d'une entrée de cadencement externe, qui cadence les acquisitions (le signal	2	1+3

SANS MENTION DE PROTECTION

Spécification technique de besoin

26 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

	de déclenchement pouvant être interne ou provenir d'une entrée externe).		
[E_M_06]	Le système de synchronisation doit être équipé d'une entrée d'horodatage IRIG-B ou PTP v2.	2	1+3
[E_M_07]	Un diagramme temporel des signaux du système de synchronisation nécessaire pour la maîtrise des ordres d'acquisition doit être inclus.	2	
[E_I_43]	Le système d'illumination doit pouvoir être compatible avec les mesures PIV et respecter le fonctionnement du système d'imagerie, notamment dans la synchronisation (déclenchement et cadencement) des pulses lumineux.	2	1+3
[E_I_44]	Le système d'illumination doit sortir ses faisceaux sur un seul et même axe optique.	2	1+3
[E_I_45]	Le système d'illumination doit avoir une longueur d'onde d'émission en sortie de $532 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$.	2	
[E_I_46]	L'énergie maximale en sortie du système d'illumination doit être de $400 \pm 25 \text{ mJ}$ / pulse dans la plage de longueur d'onde d'émission $532 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$ et dans sa gamme de fonctionnement tel que décrit dans les exigences impératives.	2	1+3
[E_I_47]	L'énergie en sortie du système d'illumination doit pouvoir être diminuée par l'utilisateur grâce à un atténuateur, lors des phases de réglage, pour être compatible avec les contraintes de sécurité HSE de travail avec des lunettes de réglage.	2	
[E_I_48]	La durée des pulses lumineux doit être inférieure ou égale à 12 ns à l'énergie maximale en sortie du système d'illumination.	2	
[E_I_49]	La stabilité de la valeur efficace de l'énergie pulse à pulse en sortie du système d'illumination doit être inférieure ou égale à 2 %.	2	
[E_M_08]	La stabilité de la valeur efficace de l'énergie des pulses en sortie du système d'illumination doit	2	

SANS MENTION DE PROTECTION

Spécification technique de besoin

27 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

	être inférieure ou égal à 5 % sur un fonctionnement continu d'une heure.		
[E_I_50]	Le système d'illumination doit pouvoir être cadencé (en doublet ou mono pulse) à une fréquence couvrant la gamme 0 à 10 Hz en synchronisation externe.	2	1+3
[E_I_51]	La divergence du faisceau en sortie du système d'illumination doit être inférieure ou égale à 10 mrad.	2	
[E_I_52]	Le diamètre du faisceau en sortie du système d'illumination doit être inférieur ou égal à 12 mm.	2	
[E_I_53]	La stabilité de pointé du faisceau en sortie du système d'illumination doit être inférieure ou égale à $\pm 60 \mu\text{rad}$ (correspondant au demi angle).	2	
[E_I_54]	Le temps entre les émissions du doublet de pulses doit être ajustable par l'utilisateur, et couvrir la gamme de 0.5 μs à 10 ms.	2	
[E_I_55]	Le système d'illumination doit disposer d'un dispositif permettant de bloquer mécaniquement l'illumination en sortie du faisceau lumineux (de type obturateur mécanique).	2	1+3
[E_I_56]	Le système d'illumination doit comporter un système de génération de nappe compatible avec le système d'illumination (puissance de pulse, diamètre du faisceau à l'entrée du générateur de nappe, etc.). Le système de génération de nappe doit pouvoir être i) déporté, et ii) déporté en dehors de l'axe optique initial du système d'illumination. Il doit inclure un système de fixation approprié.	2	
[E_I_57]	Le système de génération de nappe doit pouvoir générer une nappe utilisable pour des mesures 2D3C à des distances couvrant la gamme de 1 à 7 m pour des vitesses d'écoulement selon l'axe transversal pouvant atteindre 440 m/s. Le système de génération de nappe pourra comprendre plusieurs configurations pour couvrir cette gamme.	2	1+3

Spécification technique de besoin

28 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_I_58]	La durée de vie du système d'illumination doit être supérieure ou égale à 40 millions de pulses.	2	
[E_I_59]	Le système d'illumination doit être équipé, a minima, d'un port de communication avec un ordinateur.	2	
[E_I_60]	Chaque port de communication entre le système d'illumination et l'ordinateur doit permettre l'utilisation de câbles d'une longueur de 30 m minimum.	2	1+3
[E_M_09]	Le système d'illumination doit permettre le pilotage à distance de l'ouverture du dispositif permettant de bloquer mécaniquement la sortie des faisceaux par le logiciel (§6.4).	2	1+3
[E_M_10]	La gigue (time jitter) entre le signal d'entrée et l'émission du pulse lumineux doit être inférieure ou égale à 10 ns.	2	
[E_I_61]	La partie génératrice de l'illumination doit pouvoir être séparée de son(ses) alimentation(s) pour former deux blocs distincts et transportables séparément. La distance entre le système d'illumination et son(ses) alimentation(s) doit pouvoir être de 3 m.	2	1+3
[E_I_62]	Le système d'illumination doit respecter la norme EN60825-1 (si applicable).	2	
[E_I_63]	Le système d'illumination doit pouvoir opérer à son fonctionnement optimal dans un environnement où la température est comprise dans la gamme [+18 ; +28] °C.	2	1+3
[E_M_11]	Hors fonctionnement, le système d'illumination ne doit pas subir de détériorations (matérielle et performance) dans un environnement dont la température est comprise dans la gamme [-10 ; +60] °C. Sa remise en environnement de fonctionnement doit permettre son plein fonctionnement.	2	1+3
[E_I_64]	Le système d'illumination doit pouvoir opérer à son fonctionnement optimal dans un environnement où la pression absolue de l'air est comprise dans la gamme [88 000 ; 110 000] Pa.	2	1+3

SANS MENTION DE PROTECTION

Spécification technique de besoin

29 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_M_12]	Le système d'illumination doit pouvoir fonctionner sans dégradation matérielle dans un environnement où la pression absolue de l'air est comprise dans la gamme [20 000 ; 380 000] Pa.	2	1+3
[E_M_13]	Hors fonctionnement, le système d'illumination ne doit pas subir de détériorations (matérielle et performance) dans un environnement dont la pression absolue est dans la gamme [20 000 ; 380 000] Pa. Sa remise en environnement de fonctionnement doit permettre son plein fonctionnement.	2	1+3
[E_M_14]	Le système d'illumination proposé doit être protégé contre l'insertion de poussière (de type IP50).	2	
[E_M_15]	Chaque alimentation du système d'illumination doit avoir pour dimensions maximales (longueur x largeur x hauteur) : 600 x 400 x 700 mm.	2	
[E_M_16]	Le système d'illumination sans son(ses) alimentation(s), doit avoir pour dimensions maximales (longueur x largeur x hauteur) : 950 x 600 x 400 mm.	2	
[E_M_17]	Le poids de chaque alimentation du système d'illumination doit être inférieur ou égal à 50 kg.	2	
[E_M_18]	Le poids du système d'illumination sans son(ses) alimentation(s) doit être inférieur ou égal à 30 kg.	2	
[E_I_65]	Le Titulaire doit fournir la liste et les spécifications requises pour l'achat de postes de travail associés à l'acquisition et au dépouillement du système PIV. Les spécifications du(des) poste(s) d'acquisition doivent permettre le pilotage, l'acquisition, et l'enregistrement des données d'a minima 3 systèmes PIV 2D3C simultanément. L'ONERA se charge d'approvisionner et préparer ces postes. Les postes de travail doivent pouvoir fonctionner sur Windows 11 Pro (64 bits). La liste des spécifications (non exhaustive) pour le(s) poste(s) d'acquisition et le poste de dépouillement contiendra processeur, RAM, stockage, nombre de ports PCIe, etc.	2	3

Spécification technique de besoin

30 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_I_66]	Le service des systèmes d'information de l'ONERA doit pouvoir être autonome pour réaliser l'installation et la configuration du(des) logiciel(s) du Titulaire et des logiciels Tiers.	2	
[E_I_67]	La documentation et les procédures nécessaires à la réinstallation du(des) logiciel(s), et la remise en route du système PIV doivent être fournies.	2	3
[E_I_68]	Les seuls moyens de communication autorisés sont à base de technologies filaires. Les technologies sans fil, telles que WIFI ou la communication par radio sont interdites. Les moyens physiques de transmission de données « non filaires », s'ils ne peuvent pas être retirés, doivent être déclarés et désactivés.	2	3
[E_I_69]	Le(s) logiciel(s) du Titulaire doit(doivent) fonctionner hors réseau ou en réseau isolé, type réseau local d'entreprise. Aucune connexion externe n'est autorisée autre que celle vers le réseau isolé. Le(s) logiciels ne sera(seront) pas connecté(s) à l'internet, et pourra(pourront) être amené(s) à fonctionner dans des réseaux séparés ou à niveau de service réduit.	2	3
[E_I_70]	Le(s) logiciel(s) et le SDK fournis devront être compatibles avec le système d'exploitation Windows 11 Pro (64 bits).		3
[E_I_71]	Le système PIV doit être fourni avec un ou des logiciel(s) d'étalonnage, de pilotage des équipements, d'acquisition, et de sauvegarde des données permettant des acquisitions PIV 2D3C, qui doit(doivent) pouvoir être utilisé(s) simultanément a minima sur un poste informatique.	2	3
[E_I_72]	Le logiciel d'acquisition doit fournir une fonction de stockage / transfert des données acquises et des configurations d'acquisition utilisées vers un serveur de sauvegarde distant. A défaut d'une telle fonction, les données acquises doivent être compatibles avec un logiciel de sauvegarde que l'ONERA fournira.	2	1+3
[E_I_73]	Le système PIV doit être fourni avec un ou des logiciel(s) de post traitement des images PIV	2	3

Spécification technique de besoin

31 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

	2D3C, incluant, a minima, le traitement PIV stéréoscopique, qui doit(doivent) pouvoir être utilisés(s) simultanément a minima sur un poste informatique.		
[E_I_74]	Les éventuelles mises à jour du(des) logiciel(s) doivent être transmises gratuitement pendant les cinq années suivant l'achat du système PIV.	2	
[E_I_75]	Le(s) logiciel(s) de pilotage / d'acquisition du système PIV doit(doivent) permettre le déclenchement d'une acquisition.	2	1+3
[E_I_76]	Le(s) logiciel(s) de pilotage / d'acquisition du système PIV doit(doivent) permettre un export des données brutes des caméras.	2	1+3
[E_I_77]	Le Titulaire doit fournir un ou des outil(s) nécessaire(s) (type SDK, librairie, ou description de la structure des fichiers) permettant de lire les fichiers acquis (type images, métadonnées des paramètres d'acquisition) en C/C++.	2	3
[E_M_19]	Le Titulaire doit fournir un ou des outil(s) nécessaire(s) (type SDK, librairie, ou description de la structure des fichiers) permettant de lire les fichiers acquis (type images, métadonnées des paramètres d'acquisition) en Matlab.	2	3
[E_M_20]	Le Titulaire doit fournir un ou des outil(s) nécessaire(s) (type SDK, librairie, ou description de la structure des fichiers) permettant de lire les fichiers acquis (type images, métadonnées des paramètres d'acquisition) en Python.	2	3
[E_M_21]	L'export du(des) logiciel(s) d'acquisition et de traitement doit(doivent) être au format hdf5.	2	1+3
[E_I_78]	Les métadonnées des paramètres d'acquisition du système PIV doivent pouvoir être enregistrées.	2	1+3
[E_I_79]	Le Titulaire doit livrer le manuel d'utilisation du(des) logiciel(s) constructeur associé(s) au système PIV (étalonnage, pilotage des équipements, acquisition, et traitement d'acquisitions PIV 2D3C).	2	

SANS MENTION DE PROTECTION

Spécification technique de besoin

32 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

[E_I_80]	L'ensemble des éléments du système PIV doit être garanti pièces, main d'œuvre, et déplacement pour une durée de 2 ans.	2	
[E_M_22]	Le Titulaire doit assurer la disponibilité des pièces de rechange et la réparabilité de l'ensemble des éléments du système PIV pour une durée de supérieure ou égale à 10 ans.	2	
[E_I_81]	L'ensemble des équipements du système PIV doit être compatible avec la norme du réseau électrique domestique en France. La liaison avec ce réseau doit s'effectuer par l'intermédiaire de prises de courant monophasé 230 V/50 Hz de type C, E, et F.	2	1+3
[E_I_82]	L'ensemble des équipements du système PIV doit pouvoir fonctionner normalement sans condensation dans un environnement dont l'hygrométrie est comprise dans la gamme [5 ; 85] %.	2	
[E_I_83]	L'ensemble des équipements du système PIV doit contenir des composants non soumis à la réglementation ITAR (International Traffic in Arms Regulations).	2	
[E_M_23]	L'ensemble des équipements du système PIV doit contenir des composants non soumis à la réglementation EAR (Export Administration Regulations).	2	
[E_M_24]	Le délai de livraison de l'ensemble des équipements du système PIV doit être inférieur à 6 mois.	2	
[E_I_84]	L'ensemble des équipements du système PIV proposé doit être recetté sur les sites de l'ONERA Modane, et de l'ONERA Fauga-Mauzac pour les épreuves en pression dans la gamme [240 000 ; 380 000] Pa (si applicable) . Cette recette consistera en la vérification pratique, accompagnée d'une démonstration théorique si besoin, que l'ensembles des exigences est respecté.	2	
[E_I_85]	Une formation avancée, incluant la méthode de mesure et l'utilisation en soufflerie du système PIV (tels qu'étalonnage, acquisition, traitement, analyse), doit être organisée par le Titulaire (en accord avec l'ONERA) sur site de l'ONERA	2	

Spécification technique de besoin

33 / 35

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

	Modane pour six personnes, dans les six mois suivant la recette du matériel.		
[E_I_86]	L'ensemble des équipements du système PIV hors ordinateur, doit être livré dans une (ou des) valise(s) de transport rigide équipée(s) de roulettes.	2	
[E_I_87]	Une documentation technique comprenant le Manuel Utilisateur, les caractéristiques techniques, et, si besoin, le Manuel de Maintenance de l'ensemble des équipements du système PIV sera fournie en français ou anglais au format électronique et au format papier.	2	3
[E_I_88]	Une documentation technique complète décrivant les fonctionnalités du logiciel constructeur sera fournie en français ou anglais au format électronique et au format papier.	2	3
[E_I_89]	Un modèle CAO de l'enveloppe externe de l'ensemble des équipements du système PIV sera fourni au format non propriétaire IGES ou STEP à la notification du marché.	2	3

Prestations supplémentaires éventuelles à chiffrage obligatoire (si retenues par l'ONERA)

[PSE_O_0 1]	Extension de garantie pièces, main d'œuvre, et déplacements à 3 ans pour l'ensemble des équipements du système PIV.	2	
[PSE_O_0 2]	Une paire de caméras pour des mesures stéréo PIV 2D3C supplémentaire, ainsi que les éventuels équipements supplémentaires nécessaires à son fonctionnement et acquisition (hors Scheimpflug), doit être proposée.	2	1+3
[PSE_O_0 3]	En complément de [E_I_71] et [E_I_73], le(s) logiciel(s) d'étalonnage, de pilotage des équipements, d'acquisition, de sauvegarde des données, et de post traitement des images PIV 2D3C, doit(doivent) pouvoir fonctionner simultanément sur un poste supplémentaire.	2	3
[PSE_O_0 4]	Une extension du logiciel de traitement PIV pour faire du calcul déporté sur deux ordinateurs a minima sur un réseau, fonctionnant sous Windows 11 Pro (64 bits) ; ou	2	3

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

sur un cluster de calcul fonctionnant sous l'environnement Linux, doit être proposée.

Prestations supplémentaires éventuelles à chiffrage facultatif (si retenues par l'ONERA)

[PSE_F_0 1]	En complément de [E_I_57], la focalisation doit pouvoir être pilotée à distance par le logiciel de pilotage du système. Le système de génération de nappe sera piloté à distance, depuis le PC qui sera placé à une distance supérieure ou égale de 30 m.	2	1+3
[PSE_F_0 2]	En complément de [E_I_61], la distance entre le système d'illumination et son(ses) alimentation(s) doit(doivent) pouvoir être a minima de 5 m.	2	3
[PSE_F_0 2_bis]	En complément de [E_I_61], la distance entre le système d'illumination et son(ses) alimentation(s) doit(doivent) pouvoir être a minima de 10 m.	2	3
[PSE_F_0 3]	Une mire d'étalonnage biface pour des acquisitions PIV 2D3C, de dimensions minimales de 40 x 40 cm, doit être proposée. La mire doit être compatible du système PIV proposé. La mire doit comprendre un ou des éléments permettant le montage mécanique de la mire.	2	3
[PSE_F_0 4]	Un système de translation de mire sur un axe sur une distance supérieure ou égale de 8 mm doit être proposé. Ce système doit être pilotable à distance sur une distance minimale de 20 m. Il doit être compatible d'une mire biface de dimensions minimales de 40 x 40 cm, afin de réaliser une calibration pour des acquisitions PIV 2D3C, compatible du système PIV proposé.	2	1+3
[PSE_F_0 5]	Un mesureur de puissance dont les capacités de mesure sont adaptées aux caractéristiques du système d'illumination proposé (énergie, diamètre, fréquence des pulses, longueur d'onde, etc.) sera inclus.	2	1+3
[PSE_F_0 6]	Sécurité HSE : Six paires de lunettes de protection et six paires de lunettes de réglage (dont au moins trois de chaque compatibles avec des lunettes de vue) doivent être incluses. Le niveau d'atténuation des lunettes de	2	

Titre : [STB] Achat d'un système de mesure par PIV basse cadence pour DS

DDS : DS/DSMA/GI

Référence : DSMA/N-151/24-P

Date : 15/11/2024

protection doit assurer un niveau de protection conforme à la législation en vigueur pour l'utilisation du système d'illumination proposé à son énergie maximale. Le niveau d'atténuation des lunettes de réglage doit permettre de réaliser des réglages d'alignement et de superposition des faisceaux sans risque pour l'opérateur. Si disponible, un système de sécurité Laser portatif de type interlock pilotable à distance s'interfaçant avec le logiciel d'acquisitions PIV sera également proposé.

• *Fin du document*