

Service technique de l'Aviation civile

Département Sûreté – Equipements / Security – Equipment department

Division Equipements / Equipment division

Laboratoire Aides visuelles / Visual aids laboratory

Avis technique / *Technical opinion*

Mesure de l'angle de calage d'une unité de PAPI – Système PAC π

Measurement of PAPI unit elevation setting angle - PAC π system



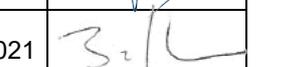
Version / Version : **V2**

Référence / Reference : AVIST/STAC/SE/E/VIS/Calage_PAPI/21-5113

Annule et remplace le document / Cancels and replaces the document :

Rapport référencé / Report AVIST/STAC/SE/E/VIS/Calage_PAPI/21-5104 approuvé le / approved on 27/09/2021

Validation du document / Document review and approval

Nom / Name	Responsabilité / Function	Date / Date	Visa / Signature
Nelly GEHIN <i>Contrôleur technique / Technical supervisor</i>	Rédacteurs / Authors	19/11/2021	
Valérie FOK BOR <i>Chef de programme / Program manager</i>			
Salathiel LONCLE <i>Chef de la subdivision Aides visuelles / Head of Visual aids subdivision</i>	Vérificateur / Reviewer	19/11/2021	
Romain BUFFRY <i>Chef de la division Equipements / Head of Equipment division</i>	Approbateur / Approver	19/11/2021	

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale, après autorisation écrite du STAC.
Only the copying in whole of this document is permitted, with the written permission of the STAC.

Diffusion du document / Document publishing

Destinataire(s) / Recipient(s)	Copie(s) / Copy(s)
DSAC-AER ; FB TECHNOLOGY	STAC/SE/E/VIS

Classement du document / Document storage

Processus de rattachement / Associated quality process	PR4-A41 : Réaliser des prestations d'expertise / Providing expertise	
Type de classement / Storage type	Lieu / Place	Durée / Duration
Classement papier / Paper archiving	-	-
Classement informatique / Electronic storage	Répertoire / Directory SISE	10 ans / years

Historique du document / Document history

Version Version	Synthèse des évolutions / Amendments	Auteur(s) / Author(s)	Paragraphes concernés Related (sub)sections
v1	Création du document / Creation of the document	Nelly GEHIN	Tous / All
v2	Insertion traduction anglaise Reformulation des paragraphes pour faciliter la traduction Identification système : - PAC π _FB remplacé par PAC π Corrections à la marge <i>Insert English translation</i> <i>Rewording of paragraphs to facilitate translation</i> <i>System identification :</i> - PAC π _FB replaced by PAC π <i>Marginal corrections</i>	Nelly GEHIN Valérie FOK BOR	Tous / All

SOMMAIRE / TABLE OF CONTENTS

1.	REFERENCES / REFERENCES	4
A.	METHODOLOGIE DE MESURE DU SYSTEME PAC π / <i>MEASUREMENT METHODOLOGY OF THE PACπ SYSTEM</i>	4
B.	CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU SYSTEME PAC π / <i>TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE PACπ SYSTEM</i>	4
2.	DESCRIPTION DE L'EXPERIMENTATION / DESCRIPTION OF THE EXPERIMENT	4
2.1.	OBJECTIF / <i>PURPOSE</i>	4
2.2.	SERVICES PRESENTS / <i>ATTENDANTS</i>	5
2.3.	PLAN DE SITUATION / <i>DETAILS</i>	5
2.4.	EQUIPEMENTS ET METHODOLOGIES MIS EN ŒUVRE / <i>IMPLEMENTED MEASUREMENT EQUIPMENT AND METHODS</i>	6
2.4.1.	<i>Méthode du contrôle en vol / Flight-checking method</i>	6
2.4.2.	<i>Méthode de la nacelle / Lift platform method</i>	7
2.4.3.	<i>Méthode de l'alidade / Alidade method</i>	8
2.4.4.	<i>Méthode PACπ / PACπ method</i>	8
2.5.	CONDITIONS DE L'EXPERIMENTATION / <i>TEST CONDITIONS</i>	9
2.6.	PROTOCOLE D'EXPERIMENTATION / <i>TEST PROTOCOLE</i>	9
2.6.1.	<i>Principe de mesure / Measurement principle</i>	9
2.6.2.	<i>Séries de mesure / Series of measurements</i>	9
3.	ANALYSE DES RESULTATS / RESULTS ANALYSIS	10
3.1.	SYNTHESE DES RESULTATS / <i>RESULTS SYNTHESIS</i>	10
3.2.	JUSTESSE DE MESURE / <i>MEASUREMENT TRUENESS</i>	11
3.2.1.	<i>Méthode de calcul / Calculation method</i>	11
3.2.2.	<i>Détails / Details</i>	12
3.2.3.	<i>Critère de validation / Acceptance criterion</i>	12
3.2.4.	<i>Résultats / Results</i>	13
3.2.5.	<i>Avis / Opinion</i>	13
3.3.	FIDELITE DE MESURE / <i>MEASUREMENT PRECISION</i>	14
3.3.1.	<i>Répétabilité de mesure / Measurement repeatability</i>	14
3.3.2.	<i>Fidélité intermédiaire de mesure / Intermediate measurement precision</i>	16
4.	CONCLUSION / CONCLUSION	18
5.	ANNEXE(S) / ANNEX(ES)	18
A.	SYNTHESE DES RESULTATS DE MESURE (1 PAGE) / <i>SYNTHESIS OF THE MEASUREMENT RESULTS (1 PAGE)</i>	18

Photos : © Photothèque STAC

Illustration(s) : Guide technique français de maintenance du balisage lumineux des aérodromes

Documents de référence A et B : fournis par / provided by FB TECHNOLOGY

Photos : © Photo library STAC

Illustration(s) : French technical guide on airfield lighting maintenance

Reference documents A and B : provided by FB TECHNOLOGY

1. REFERENCES / REFERENCES

Ci-après la liste des documents de référence fournis par la société FB TECHNOLOGY relatifs aux caractéristiques et à l'utilisation de son système PAC π . Ces documents sont gardés confidentiels (indisponibles dans le présent avis technique).

Below is the list of the reference documents provided by the company FB TECHNOLOGY and related to the PAC π system characteristics and measurement method. These documents are kept confidential (not included in this technical opinion).

A. METHODOLOGIE DE MESURE DU SYSTEME PAC π / MEASUREMENT METHODOLOGY OF THE PAC π SYSTEM

Fichier / File : « PAC π _Manuel_Utilisateur-2017_06 »

Titre du document / Document title : SYSTEME PAC π © (IDDN) POUR LA MESURE DES CARACTERISTIQUES ANGULAIRES ET PHOTOMETRIQUES DES FEUX PAPI_MANUEL UTILISATEUR_Edition Juin 2017 (41 pages)

B. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU SYSTEME PAC π / TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE PAC π SYSTEM

Fichier / File : « PAC π Specifications-2016_03_v3.1 »

Titre du document / Document title : SPECIFICATION OF PAC π © (IDDN)_SYSTEM FOR MEASUREMENT OF THE PAPI OPTICAL CHARACTERISTICS AND PHOTOMETRY CONTROL_Edition v3.1_March 2016 (13 pages)

2. DESCRIPTION DE L'EXPERIMENTATION / DESCRIPTION OF THE EXPERIMENT

2.1. OBJECTIF / PURPOSE

Les angles de calage en site de chaque unité de PAPI doivent être vérifiés périodiquement, c'est une obligation réglementaire française et internationale. Le Guide technique français de maintenance du balisage lumineux des aérodromes détaille notamment les méthodologies à employer ; le contrôle en vol, la nacelle ou l'alidade. Les deux premières, exigées pour la mise en service et les contrôles de périodicité quinquennale des unités de PAPI, sont des méthodes particulièrement chronophages et coûteuses.

L'apparition de nouvelles technologies plus avantageuses permettant de réaliser ces vérifications, rend nécessaire l'évaluation et la validation de ces dernières par l'autorité de surveillance.

L'objectif de la présente expérimentation est d'évaluer la méthodologie **développée par la société FB TECHNOLOGY (FB)** pour la mesure de l'angle de calage en site d'une unité de PAPI, incluant à la fois le système (ou équipement) de mesure PAC π et la protocole de mesure associé.

French as well as international regulations require PAPI units elevation setting angles to be periodically checked. French technical guide on airfield lighting maintenance details the various applicable methods for this purpose : flight-checking, lift platform or alidade method. The first two methods are required for the initial operation and for any five-yearly check of PAPI units but they are particularly time-consuming and costly.

Newly emerged and more advantageous technologies allowing to perform these checks need to be assessed and validated by the supervisory authority.

*The experiment described in this report aims at assessing the method **developed by the company FB TECHNOLOGY** for the measurement of PAPI unit elevation setting angle, including both the measuring system (or equipment) PAC π and the related measurement protocole.*

2.2. SERVICES PRESENTS / ATTENDANTS

Service technique de l'Aviation civile (STAC) – Division Équipements / *Equipment Division*

Aéroport de Toulouse Blagnac (LFBO) – Direction des Opérations – Unité Balisage / *Toulouse Blagnac airport – Operations Department – Lighting Section*

GEinfra : Cabinet de géomètres experts / *Expert-surveyor agency*

Contrôle en vol militaire / *Military flight-checking*

Société / *Company* FB TECHNOLOGY

2.3. PLAN DE SITUATION / DETAILS

Dates : 6, 7 et 9 avril 2021

Lieu : Aéroport de Toulouse Blagnac (LFBO)

Dispositif lumineux mesuré : PAPI implanté pour approche sur la piste 32L

Dates : April, 6th, 7th and 9th, 2021

Location : Toulouse Blagnac airport

Measured lighting system : PAPI installed for approach on runway 32L

Unité de PAPI / <i>PAPI Unit</i>	A	B	C	D
Angle de calage en site requis / <i>Required elevation setting angle</i>	2°30'	2°50'	3°10'	3°30'

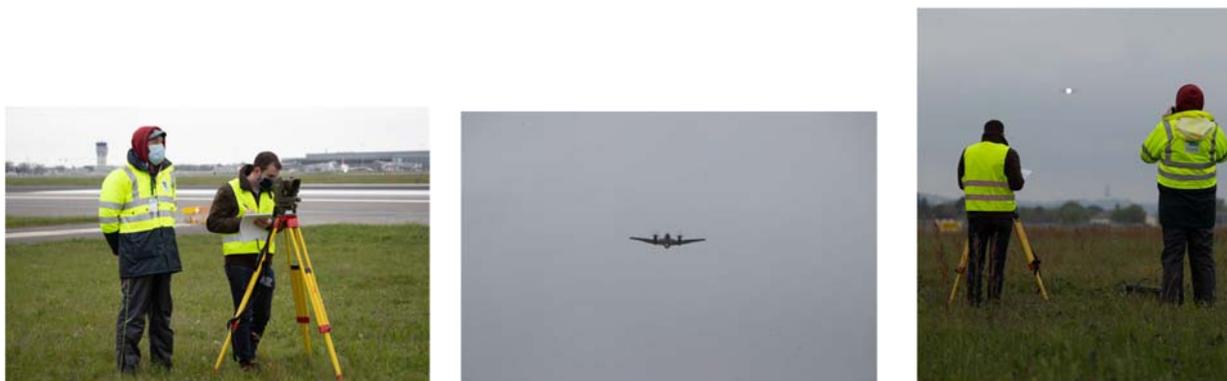


2.4. EQUIPEMENTS ET METHODOLOGIES MIS EN ŒUVRE / IMPLEMENTED MEASUREMENT EQUIPMENT AND METHODS

2.4.1. Méthode du contrôle en vol / *Flight-checking method*

La méthode historique de mesure de l'angle de calage en site des unités de PAPI est l'utilisation d'un avion en vol sinusoïdal de part et d'autre du plan de descente associé à un opérateur utilisant un théodolite.

The historical measurement method of the elevation setting angle of PAPI units requires both a ground-based operator using a theodolite and an observer on-board an aircraft sinusoidally flying above and below the glide path.



La référence de mesure du théodolite est basée sur un point théorique situé sur la zone de transition colorimétrique (blanc / rouge) du faisceau près de l'unité à mesurer (masquage des unités non mesurées). Un opérateur au sol pointe le théodolite sur le nez de l'avion. Un observateur à bord de l'avion donne un top (par VHF) chaque fois qu'une zone de transition colorimétrique (du rouge vers le blanc ou du blanc vers le rouge) est observée. L'opérateur au sol, relève les angles de transition colorimétrique à la réception des tops.

The theoretical reference point from which the angles are measured by the theodolite is located in the colorimetric (white / red) transition area of the PAPI unit beam to be measured. (Non-measured PAPI units are masked.) The ground-based operator points the theodolite at the aircraft nose. The on-board observer gives a signal to the ground-based operator each time a colorimetric transition area (either from white to red or from red to white) is observed. The ground-based operator records the angle measured by the theodolite for each signal given by the on-board observer.

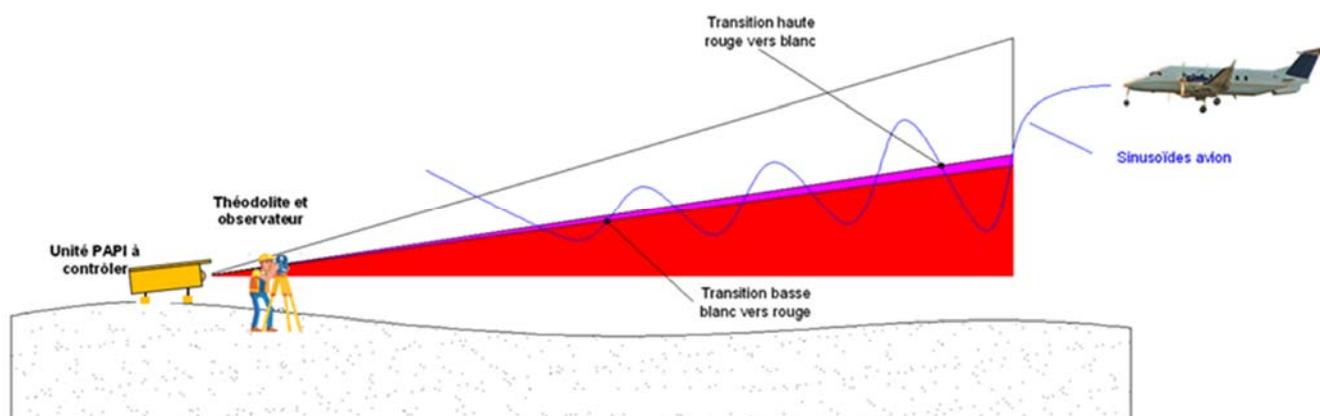


Figure / Fig. 1 : Mesure de l'angle de calage en site d'une unité de PAPI par la méthode du contrôle en vol / *Flight-checking method implemented for the measurement of PAPI unit elevation setting angle*

2.4.2. Méthode de la nacelle / Lift platform method

Un des moyens également retenu pour permettre la détermination de l'angle de calage en site des unités de PAPI, tout en conservant la possibilité d'observations de la transition colorimétrique en position statique, repose sur l'utilisation d'une nacelle élévatrice mobile et d'un théodolite.

Another method recognized as being suitable for the measurement of the elevation setting angle of PAPI units and allowing for a static observation of the colorimetric transition area, requires the use of a mobile lift platform and a theodolite.



La nacelle est positionnée à environ 150 m du PAPI respectivement dans l'axe de chaque unité (A, B, C et D). La hauteur de mesure est ajustée par le conducteur de la nacelle afin que l'observateur (dans la nacelle) puisse regarder le faisceau blanc de l'unité lumineuse en position debout standard et le faisceau rouge en position jambes fléchies. La zone de transition colorimétrique est ensuite évaluée par l'observateur par simple fléchissement des jambes.

For each PAPI unit (A, B, C and D), the lift platform is positioned on its centre line at about 150 m from it. The measurement height is adjusted by the lift platform driver until the observer (on the lift platform) can look at both the white and the red parts of the PAPI unit beam respectively in a standing position and by bending his legs. The colorimetric transition area of the PAPI unit beam can then be watched by the observer by only bending his legs.



Le géomètre détermine la position du théodolite en fonction de ses caractéristiques, et de la position des lentilles des unités de PAPI à mesurer. L'observateur tient un prisme de visée à hauteur de ses yeux. Le géomètre suit les déplacements verticaux de l'observateur en pointant le prisme de visée. Les mesures angulaires sont relevées lorsque l'observateur repère la zone de transition colorimétrique qui correspond aux passages du rouge au blanc et du blanc au rouge.

For each PAPI unit, a theodolite is placed by a ground-based expert-surveyor according to its characteristics and the position of the PAPI unit lens. The observer holds a targeting prism at his eyes level. The ground based expert-surveyor points the theodolite at the targeting prism held by the observer on the lift platform. The angle measured by the theodolite is recorded for the position of the observer capable of looking at both the white and the red parts of the PAPI unit beam respectively in a standing position and by bending his legs.

2.4.3. Méthode de l'alidade / Alidade method

L'alidade est un appareil de réglage fourni ou validé par le constructeur du PAPI. Celui-ci donne la valeur angulaire de calage de l'unité PAPI par lecture directe, suivant les procédures définies par le constructeur.

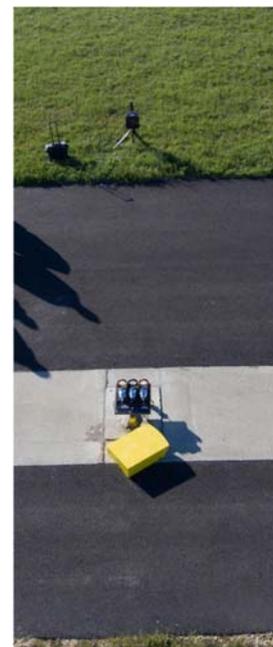
An alidade is a measuring instrument provided or validated by the manufacturer of the PAPI. It measures the elevation setting angle of PAPI unit. The value is obtained by direct reading, in accordance with the procedures defined by the manufacturer.



2.4.4. Méthode PAC π / PAC π method

Le système PAC π est un système de mesure à positionner au sol, face à l'unité à mesurer. Les différents équipements de mesures le constituant (caméra haute résolution, spectrophotomètre, inclinomètre...) permettent de fournir les informations nécessaires à la détermination des angles de visée, à la transition colorimétrique (rouge / blanc), ainsi que la chromaticité et la distribution de l'intensité lumineuse du faisceau.

The PAC π system is a measuring system that shall be positioned on the ground in front of the PAPI unit to be measured. Its various measuring devices (high resolution camera, spectrophotometer, clinometer...) allow to provide the information necessary for the determination of the viewing angles, the colorimetric transition area (red / white), the chromaticity and the luminous intensity distribution of the light beam.



La méthodologie de mesure développée par la société FB TECHNOLOGY est définie dans le document / *The measurement method developed by the company FB TECHNOLOGY is defined in the document : « Système PAC π © (IDDN) pour la mesure des caractéristiques angulaires et photométriques des feux PAPI_Manuel Utilisateur-2017_06 » (Document de référence / Reference document : A).*

Les caractéristiques techniques du système PAC π sont détaillées dans le document / *The technical characteristics of the PAC π system are detailed in the document : « PAC π Specifications-2016_03_v3.1 » (Document de référence / Reference document : B).*

2.5. CONDITIONS DE L'EXPERIMENTATION / TEST CONDITIONS

Expérimentation réalisée de jour sur 3 jours (06, 07 et 09 avril 2021)

Piste 32L fermée

Niveau de brillance des unités de PAPI adapté aux conditions de visibilité et à la méthode de contrôle (allumage préalable des unités de PAPI dû au risque d'apparition de buée)

Conditions météorologiques

- Plafond nuageux : bas le 06/04/21, pour le contrôle en vol de l'unité C, puis ciel peu nuageux à dégagé pendant le reste de la durée de l'expérimentation
- Vent : < 15 kts
- Visibilité : > 10 km

Day-time experiment carried out over 3 days (April 06th, 07th and 09th 2021)

Closed runway 32L

Level of brightness of PAPI units adjusted to visibility conditions and measurement method (prior illumination of PAPI units to avoid any condensation)

Meteorological conditions:

- *Cloud ceiling, low on April 06th 2021, for the flight-checking of PAPI unit C, then slightly cloudy or clear sky during the remaining time of the experiment*
- *Wind : < 15 kts*
- *Visibility : > 10 km*

2.6. PROTOCOLE D'EXPERIMENTATION / TEST PROTOCOLE

Afin d'évaluer la méthode PAC π pour la mesure de l'angle de calage en site d'une unité de PAPI, les mesures ont également été réalisées selon les autres méthodologies de mesure décrites précédemment.

In order to assess the PAC π method, measurements were also performed according to the other measurement methods previously described.

2.6.1. Principe de mesure / Measurement principle

Recherche de la zone de transition colorimétrique et détermination de l'angle de calage en site de chacune des 4 unités de PAPI.

Searching for the colorimetric transition area and determination of the elevation setting angle of each of the 4 PAPI units.

2.6.2. Séries de mesure / Series of measurements

Méthode de mesure Measurement method	Alidade Alidade				Contrôle en vol Flight-checking				Nacelle Lift platform				PAC π			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Unité de PAPI PAPI unit																
Date																
06 avril 2021 April 06 th 2021	1	1	1	1	1	1	*	1	-	-	-	-	-	-	-	-
07 avril 2021 April 07 th 2021	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5+1+1**	5	5	5
09 avril 2021 April 09 th 2021	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau / Table 1 : Séries de mesures réalisées par unité de PAPI, méthode de mesure et jour / Series of measurements performed per PAPI unit, measurement method and day

*Aucune mesure réalisée en raison de mauvaises conditions météorologiques / No performed measurement because of inadequate meteorological conditions

** 3 séries de mesure réalisées en réinitialisant le système de mesure entre chaque série / 3 measurement series performed with rebooting the measuring system inbetween

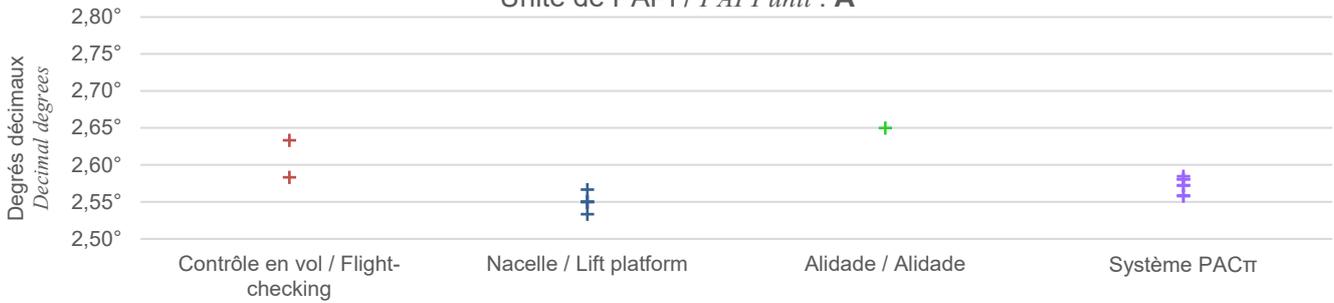
3. ANALYSE DES RESULTATS / RESULTS ANALYSIS

3.1. SYNTHESE DES RESULTATS / RESULTS SYNTHESIS

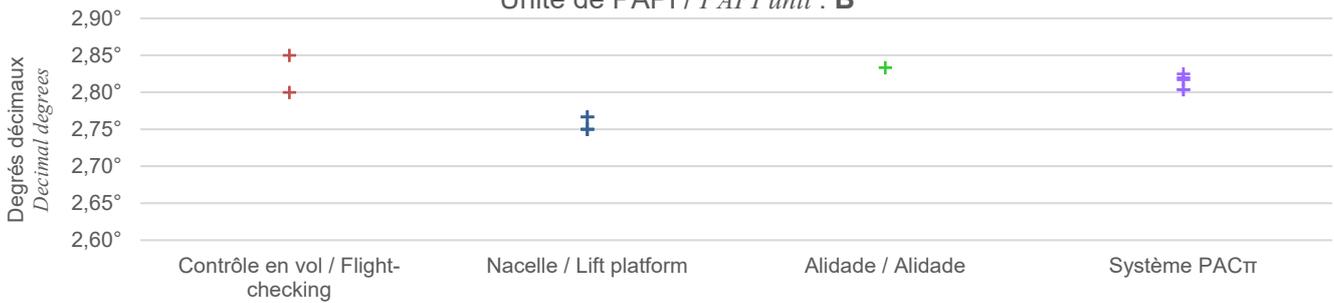
La synthèse des résultats de mesure de l'expérimentation menée les 6, 7 et 9 avril 2021 sur l'aéroport de Toulouse Blagnac (piste 32L) est disponible en **Annexe A**.

The synthesis of the measurement results of the experiment carried out on April, 6th, 7th and 9th 2021 at Toulouse Blagnac airport (runway 32L) is available in *Annex A*.

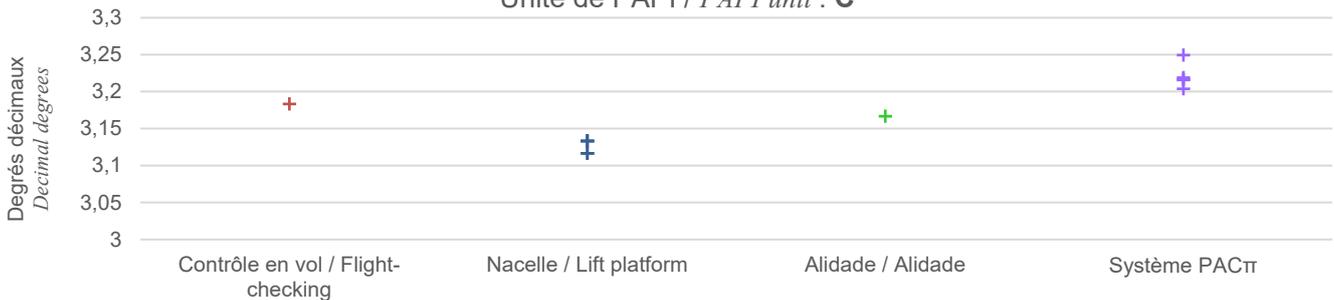
Angle de calage en site mesuré selon différentes méthodes
Elevation setting angle measured according to various method
 Unité de PAPI / PAPI unit : **A**



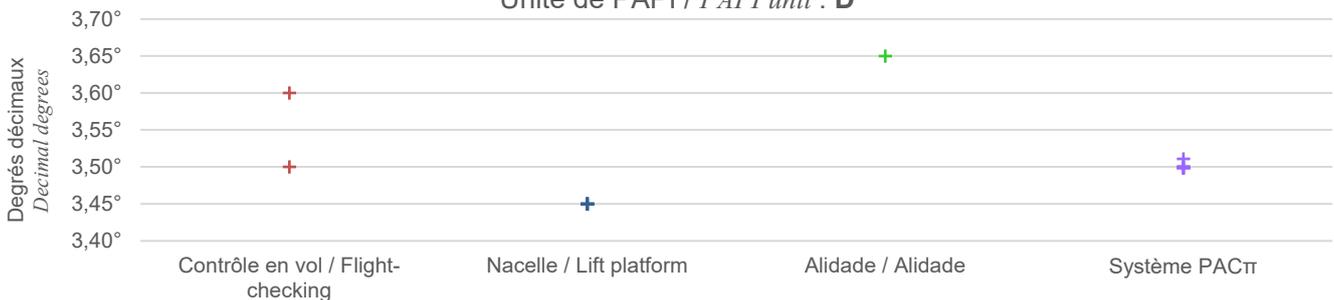
Angle de calage en site mesuré selon différentes méthodes
Elevation setting angle measured according to various method
 Unité de PAPI / PAPI unit : **B**



Angle de calage en site mesuré selon différentes méthodes
Elevation setting angle measured according to various method
 Unité de PAPI / PAPI unit : **C**



Angle de calage en site mesuré selon différentes méthodes
Elevation setting angle measured according to various method
 Unité de PAPI / PAPI unit : **D**



3.2. JUSTESSE DE MESURE / MEASUREMENT TRUENESS

(Source NF ISO/IEC GUIDE 99 - VIM : Vocabulaire international de métrologie)

« Valeur de référence : Valeur d'une grandeur servant de base de comparaison pour les valeurs de grandeurs de même nature »

« Justesse de mesure : Étroitesse de l'accord entre la moyenne d'un nombre infini de valeurs mesurées répétées et une valeur de référence »

Le calage en site des unités de PAPI peut à ce jour être réalisé selon trois méthodes reconnues, acceptées et détaillées dans le guide technique français de maintenance du balisage lumineux des aérodromes, à savoir :

- pour la mise en service et les contrôles de périodicité quinquennale / for the initial operation and any five-yearly check :
 - la méthode du contrôle en vol,
 - la méthode de la nacelle,
- pour les contrôles de périodicité annuelle : la méthode de l'alidade.

Pour cette raison, nous considérerons l'ensemble des résultats de ces trois méthodes afin de déterminer une unique valeur moyenne acceptable d'angle de calage en site par unité de PAPI.

« Reference quantity value : Quantity value used as a basis for comparison with values of quantities of the same kind »

« Measurement trueness : Closeness of agreement between the average of an infinite number of replicate measured quantity values and a reference quantity value »

PAPI units elevation setting can currently be performed according to three accepted and recognized methods, detailed in the French technical guide on airfield lighting maintenance, namely :

- for the initial operation and any five-yearly check :
 - the flight-checking method,
 - the lift platform method,
- for any yearly check : the alidade method.

For this reason, the overall results obtained from these three measurement methods are considered in order to determine a single acceptable average value of elevation setting angle per PAPI unit.

3.2.1. Méthode de calcul / Calculation method

La démarche retenue est la suivante / Measurements results are processed as follows :

Pour chaque unité **u** de PAPI / For each PAPI unit **u** :



Calcul de la moyenne $\overline{X_{uM_{rec}}}$ représentant la moyenne des moyennes des mesures de l'angle de calage selon les méthodes reconnues / Computation of the average $\overline{X_{uM_{rec}}}$ as the average of the average of the measurements of the elevation setting angle according to recognized methods



Calcul de la moyenne $\overline{X_{um}}$ représentant la moyenne des mesures de l'angle de calage selon la méthode évaluée **m** / Computation of the average $\overline{X_{um}}$ as the average of the measurements of the elevation setting angle according to the tested method **m**



Calcul du biais (appelé aussi écart) **S_{um}** de la méthode évaluée **m**, représentant la différence entre $\overline{X_{um}}$ et $\overline{X_{uM_{rec}}}$ / Computation of the bias (also named deviation) **S_{um}** of the tested method **m**, as the difference between $\overline{X_{um}}$ and $\overline{X_{uM_{rec}}}$



Caractérisation du biais **S_{um}** de la méthode évaluée **m** (Confrontation au critère de validation défini) / Characterization of the bias **S_{um}** of the tested method **m** (Comparison with the defined validation criterion)

3.2.2. Détails / Details

1

La moyenne $\overline{X_{uM_{rec}}}$ des moyennes des mesures de l'angle de calage de l'unité u de PAPI réalisées selon les méthodes reconnues $(M_{rec_i})_{1 \leq i \leq 3}$ est calculée d'après la formule suivante / The average $\overline{X_{uM_{rec}}}$ of the average of the measurements of the elevation setting angle of PAPI unit u performed according to the recognized methods $(M_{rec_i})_{1 \leq i \leq 3}$ is computed from the following formula :

$$\overline{X_{uM_{rec}}} = \frac{1}{N_{M_{rec}}} \sum_{i=1}^{N_{M_{rec}}} \left(\frac{1}{n_{uM_{rec_i}}} \sum_{j=1}^{n_{uM_{rec_i}}} x_{juM_{rec_i}} \right)$$

avec, pour chaque unité u de PAPI mesurée selon la méthode reconnue / where, for each PAPI unit u measured according to the recognized method M_{rec_i} ($1 \leq i \leq N_{M_{rec}}$) :

- $n_{uM_{rec_i}}$: le nombre de mesures successives réalisées / the number of successive performed measurements,
- $x_{juM_{rec_i}}$: le résultat de la j^{me} mesure / the result of the j^{th} measurement ($1 \leq j \leq n_{uM_{rec_i}}$),
- $N_{M_{rec}}$: le nombre de méthodes de mesure reconnues, soit 3 / the number of recognized measurement methods, namely 3.

2

La moyenne $\overline{X_{um}}$ des mesures de l'angle de calage de l'unité u de PAPI réalisées selon la méthode évaluée m est calculée d'après la formule suivante : / The average $\overline{X_{um}}$ of the measurements of the elevation setting angle of PAPI unit u measured according to the tested method m is computed from the following formula :

$$\overline{X_{um}} = \frac{1}{n_{um}} \sum_{i=1}^{n_{um}} x_{ium}$$

avec, pour chaque unité u de PAPI mesurée selon la méthode évaluée m / where, for each PAPI unit u measured according to the tested method m :

- n_{um} : le nombre de mesures successives réalisées / the total number of successive performed measurements,
- x_{ium} : le résultat de la i^{me} mesure / the result of the i^{th} measurement ($1 \leq i \leq n_{um}$).

3

Le biais S_{um} de la méthode évaluée m mise en œuvre pour la mesure de l'angle de calage de l'unité u de PAPI est calculé d'après la formule suivante / The bias S_{um} of the tested method m implemented for the measurement of the elevation setting angle of PAPI unit u , is computed from the following formula :

$$S_{um} = \overline{X_{um}} - \overline{X_{uM_{rec}}}$$

3.2.3. Critère de validation / Acceptance criterion

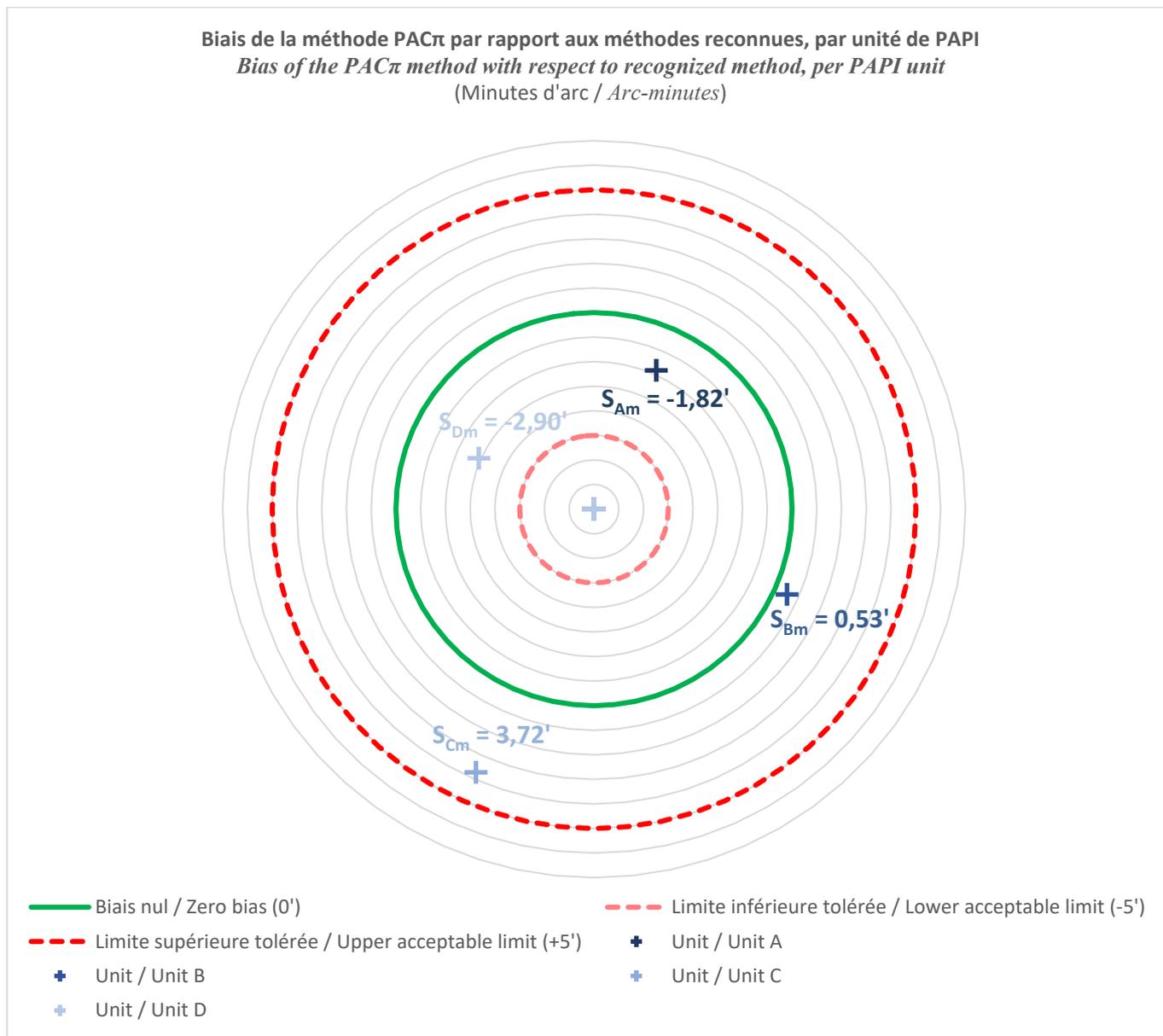
Le biais S_{um} est estimé satisfaisant si
The bias S_{um} is regarded as acceptable if

$$|S_{um}| \leq 5 \text{ minutes d'arc / arc-minutes}$$

3.2.4. Résultats / Results

La représentation graphique ci-après illustre, pour chaque unité u de PAPI mesurée, le biais de la méthode évaluée m , exprimé en minutes d'arc (valeurs décimales).

The chart below illustrates, for each PAPI unit u , the bias S_{um} of the tested method m , expressed in arc-minutes (decimal values).



3.2.5. Avis / Opinion

L'ensemble des biais de la méthode PAC π observés par rapport aux méthodes reconnues que sont la méthode du contrôle en vol, la méthode de la nacelle et la méthode de l'alidade mises en œuvre pour la mesure de l'angle de calage en site, reste inférieur à 5 minutes d'arc pour chaque unité de PAPI.

Ce constat permet d'apprécier favorablement la justesse de mesure de la méthode PAC π , incluant protocole et système de mesure, objet du présent avis technique.

All the bias of the PAC π method observed with respect to recognized methods (flight-checking method, lift platform method and alidade method) implemented for the measurement of the elevation setting angle, remain below 5 arc-minutes for any PAPI unit.

This statement allows to approve the measurement trueness of the PAC π method, including both the measurement protocol and the measuring system, purpose of this technical opinion.

3.3. FIDELITE DE MESURE / *MEASUREMENT PRECISION*

3.3.1. Répétabilité de mesure / *Measurement repeatability*

(Source NF ISO/IEC GUIDE 99 - VIM : Vocabulaire international de métrologie)

« Fidélité de mesure : Etroitesse de l'accord entre les indications ou les valeurs mesurées obtenues par des mesurages répétés du même objet ou d'objets similaires dans des conditions spécifiées »

« Condition de répétabilité : Condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, les mêmes opérateurs, le même système de mesure, les mêmes conditions de fonctionnement et le même lieu, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une courte période de temps »

« Measurement precision : Closeness of agreement between indications or measured quantity values obtained by replicate measurements on the same or similar objects under specified conditions »

« Repeatability condition : Condition of measurement, out of a set of conditions that includes the same measurement procedure, same operators, same measuring system, same operating conditions and same location, and replicate measurements on the same or similar objects over a short period of time »

3.3.1.1. Méthode de calcul / *Calculation method*

La démarche retenue est la suivante / *Measurements results are processed as follows* :

Pour chaque unité u de PAPI mesurée selon la méthode évalué m / For each PAPI unit u measured according to the tested method m :

1

Calcul de l'écart-type $\sigma_{r_{sum}}$ de répétabilité par série s de mesures
Computation of the repeatability standard deviation $\sigma_{r_{sum}}$ per measurement series s

2

Calcul de l'écart-type moyen $\sigma_{r_{um}}$ de répétabilité, toutes séries de mesures confondues
Computation of the average repeatability standard deviation $\sigma_{r_{um}}$ over all measurement series

3

Caractérisation de l'écart-type moyen $\sigma_{r_{um}}$ de répétabilité (*Confrontation au critère de validation défini*)
Characterization of the average repeatability standard deviation $\sigma_{r_{um}}$ (Comparison with the defined validation criterion)

3.3.1.2. Détails / *Details*

1

L'écart-type $\sigma_{r_{sum}}$ de répétabilité de la méthode évaluée m par unité u de PAPI et par série s de mesures effectuées est calculé d'après la formule suivante / *The repeatability standard deviation $\sigma_{r_{sum}}$ of the tested method m per PAPI unit u and per measurement series s is computed from the following formula :*

$$\sigma_{r_{sum}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{sum}} (x_{i_{sum}} - \bar{X}_{sum})^2}{n_{sum}}}$$

avec, pour chaque unité u de PAPI mesurée de manière répétée selon la méthode évaluée m / *where, for each PAPI unit u measured repeatedly according to the tested method m :*

- \bar{X}_{sum} : la moyenne des résultats de mesure de la série s / *the average of the measurement results obtained within measurement series s ,*
- n_{sum} : le nombre de mesures successives de la série s / *the number of successive measurements performed within measurement series s ,*
- $x_{i_{sum}}$: le résultat de la $i^{\text{ème}}$ mesure de la série s / *the result of the i^{th} measurement performed within measurement series s , ($1 \leq i \leq n_{sum}$).*

2

L'écart-type moyen $\sigma_{r_{um}}$ de répétabilité de la méthode évaluée **m** par unité **u** de PAPI est calculé d'après la formule suivante / The average repeatability standard deviation $\sigma_{r_{um}}$ of the tested method **m** per PAPI unit **u** is computed from the following formula :

$$\sigma_{r_{um}} = \frac{1}{n_{um}} \sum_{s=1}^{n_{um}} \sigma_{r_{sum}}$$

avec n_{um} le nombre de séries de mesures effectuées sur l'unité **u** de PAPI selon la méthode évaluée **m** / with n_{um} as the number of measurement series performed on PAPI unit **u** according to the tested method **m**.

3.3.1.3. Critère de validation / Acceptance criterion

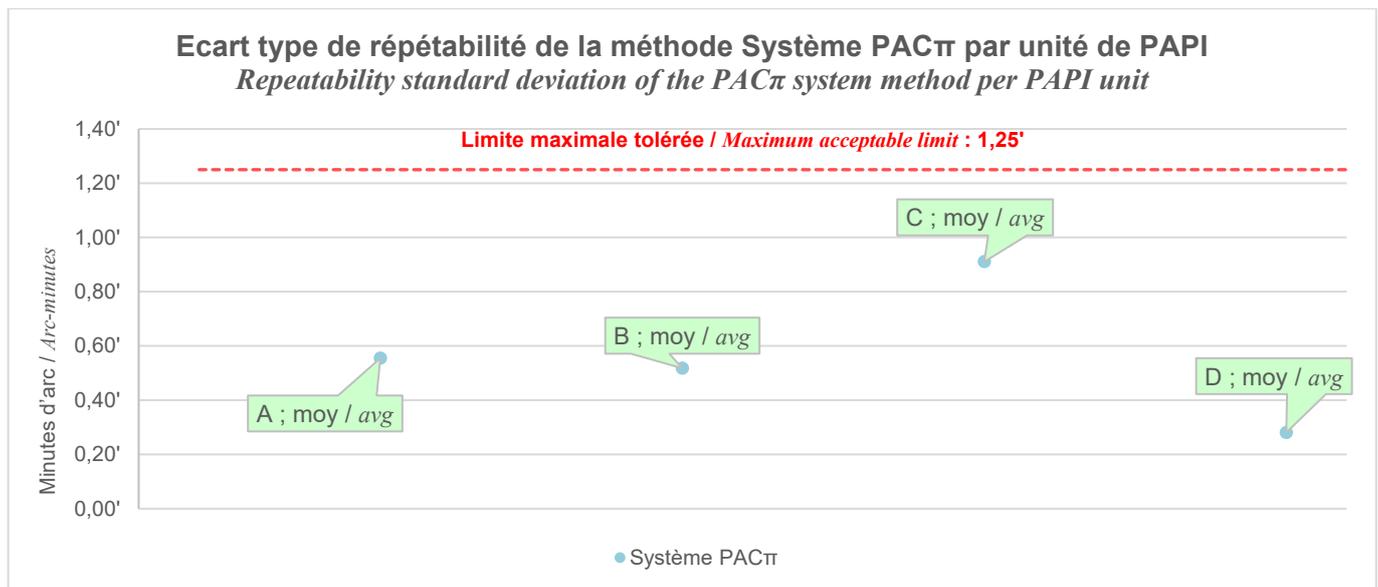
L'écart-type moyen $\sigma_{r_{um}}$ de répétabilité est estimé satisfaisant si
The average repeatability standard deviation $\sigma_{r_{um}}$ is regarded as acceptable if

$$\sigma_{r_{um}} \leq 1,25 \text{ minute d'arc / arc-minute}$$

3.3.1.4. Résultats / Results

La représentation graphique ci-après illustre, pour chaque unité **u** de PAPI mesurée, l'écart-type $\sigma_{r_{um}}$ de répétabilité de la méthode évaluée **m**, exprimé en minutes d'arc (valeurs décimales).

The chart below illustrates, for any PAPI unit **u**, the average repeatability standard deviation $\sigma_{r_{um}}$ of the tested method **m**, expressed in arc-minutes (decimal values).



3.3.1.5. Avis / Opinion

L'ensemble des écarts-types de répétabilité de la méthode PAC π reste inférieur à 1,25 minute d'arc pour chaque unité de PAPI. Ce constat permet d'apprécier favorablement la répétabilité de mesure de la méthode PAC π , incluant protocole et système de mesure, objet du présent avis technique.

The repeatability standard deviation of the PAC π method remains below 1,25 arc-minute for any PAPI unit. This statement allows to approve the measurement repeatability of the PAC π method, including both the measurement protocol and the measurement system, purpose of this technical opinion.

3.3.2. Fidélité intermédiaire de mesure / Intermediate measurement precision

(Source NF ISO/IEC GUIDE 99 - VIM : Vocabulaire international de métrologie)

« Condition de fidélité intermédiaire : Condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, le même lieu et des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une période de temps étendue, mais peuvent comprendre d'autres conditions que l'on fait varier »

« Intermediate precision condition : Condition of measurement, out of a set of conditions that includes the same measurement procedure, same location, and replicate measurements on the same or similar objects over an extended period of time, but may include other conditions involving changes »

3.3.2.1. Méthode de calcul / Calculation method

La démarche retenue est la suivante / Measurements results are processed as follows :

Pour la méthode évaluée **m** / For the tested method **m** :



Calcul de l'écart-type $\sigma_{R_{um}}$ de fidélité intermédiaire (temps différents) par unité **u** de PAPI
Computation of the time-different intermediate precision standard deviation $\sigma_{R_{um}}$ per PAPI unit **u**



Calcul de l'écart-type moyen σ_{R_m} de fidélité intermédiaire (temps différents), toutes unités de PAPI confondues / Computation of the average time-different intermediate precision standard deviation σ_{R_m} over all PAPI units



Caractérisation de l'écart-type $\sigma_{R_{um}}$ de fidélité intermédiaire (temps différents) (confrontation au critère de validation défini) / Characterization of the time-different intermediate measurement precision standard deviation $\sigma_{R_{um}}$ (Comparison with the defined validation criterion)

3.3.2.2. Détails / Details



L'écart-type $\sigma_{R_{um}}$ de fidélité intermédiaire (temps différents) de la méthode évaluée **m**, par unité **u** de PAPI, est calculé d'après la formule suivante / The time-different intermediate precision standard deviation $\sigma_{R_{um}}$ of the tested method **m**, per PAPI unit **u**, is computed from the following formula :

$$\sigma_{R_{um}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{um}} (x_{ium} - \bar{X}_{um})^2}{n_{um}}}$$

avec, pour chaque unité de PAPI **u** mesurée par la méthode évaluée **m** / where, for each PAPI unit **u** measured according to the tested method **m** :

- \bar{X}_{um} : la moyenne des résultats de mesure (toutes séries de mesure confondues) / the average of all measurement results (over all measurement series),
- n_{um} : le nombre de mesures successives réalisées / the number of successive performed measurements,
- x_{ium} : le résultat de la $i^{\text{ème}}$ mesure / the result of the i^{th} performed measurement ($1 \leq i \leq n_{um}$).



L'écart-type moyen σ_{R_m} de fidélité intermédiaire (temps différents) de la méthode évaluée **m** est calculé d'après la formule suivante / The average time-different intermediate precision standard deviation σ_{R_m} of the tested method **m** is computed from the following formula :

$$\sigma_{R_m} = \frac{1}{n_m} \sum_{u=1}^{n_m} \sigma_{R_{um}}$$

avec n_m le nombre d'unités de PAPI mesurées selon la méthode évaluée **m** / with n_m as the number of PAPI units measured according to method **m**.

3.3.2.3. Critère de validation / Acceptance criterion

L'écart-type $\sigma_{R_{um}}$ de fidélité intermédiaire (temps différents) est estimé satisfaisant si :

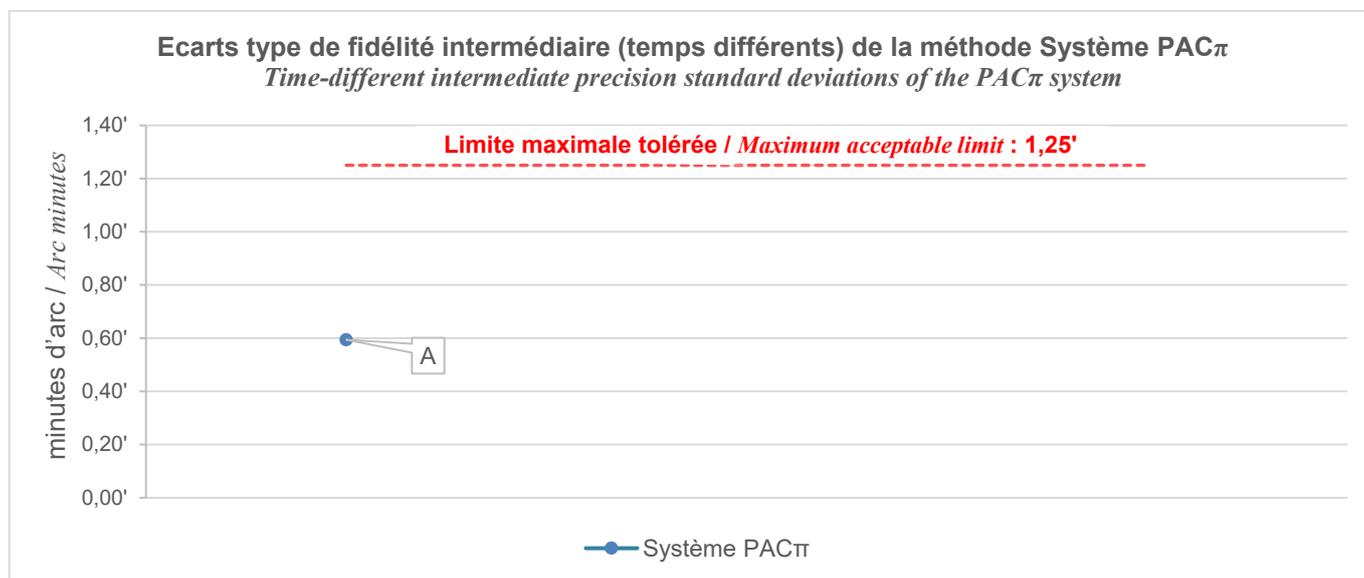
The time-different intermediate precision standard deviation $\sigma_{r_{um}}$ is regarded as acceptable if :

$$\sigma_{R_{um}} \leq 1,25 \text{ minute d'arc / arc-minute}$$

3.3.2.4. Résultats / Results

Les conditions de mesures du système PAC π combinées aux contraintes opérationnelles de l'expérimentation ont permis de réaliser 3 séries de mesure uniquement sur l'unité **A** de PAPI. La représentation graphique ci-après illustre, pour l'unité **A** de PAPI, l'écart-type $\sigma_{R_{Am}}$ de fidélité intermédiaire (temps différents) de la méthode évaluée **m**, exprimé en arc-minutes (valeur décimale).

The required conditions of measurement of the PAC π system combined with the operating constraints of this experiment allowed to perform 3 measurement series only on PAPI unit **A**. The chart below illustrates, for PAPI unit **A**, the time-different intermediate precision standard deviation $\sigma_{R_{Am}}$ of the tested method **m**, expressed in arc-minutes (decimal value).



3.3.2.5. Avis / Opinion

L'écart-type de fidélité intermédiaire (temps différents) de la méthode PAC π reste inférieur à 1,25 minute d'arc pour l'unité A de PAPI. Pour les autres unités de PAPI, il n'a pu être calculé car seule une unique série de mesures a pu être réalisée. Ce constat permet d'apprécier favorablement la fidélité intermédiaire (temps différents) de la méthode PAC π , incluant protocole et système de mesure, objet du présent avis technique.

The time-different intermediate precision standard deviation of the PAC π method remains below 1,25 arc-minute for PAPI unit A. For other PAPI units, it could not be computed as only a single measurement series could be performed. This statement allows to approve the time-different intermediate precision of the PAC π method, including both the measurement protocol and the measurement system, purpose of this technical opinion.

4. CONCLUSION / CONCLUSION

Avantages observés pour le système PAC π lors de l'expérimentation :

- système de mesure facile et rapide à mettre en œuvre permettant une réduction du temps d'occupation de la piste,
- système de mesure facile à installer permettant un dégagement rapide de la piste en cas d'urgence ou si nécessaire, sans perturbation du trafic.

L'ensemble des paramètres contrôlés (justesse et fidélité de mesure) de la méthode PAC π respecte les limites définies.

L'analyse des résultats obtenus permet d'émettre un avis technique favorable à l'utilisation de la méthode PAC π , pour la mesure de l'angle de calage en site d'une unité de PAPI, sur l'ensemble des aéroports du territoire français.

The following benefits of the PAC π system were highlighted by the experiment :

- *easy and quick to implement measuring system allowing a reduced runway occupancy time,*
- *quick to install measuring system allowing to clear the runway quickly in case of emergency or when necessary, without disrupting air traffic.*

All controlled parameters (measurement trueness and precision) of the PAC π method comply with the defined limits.

The results analysis allows the STAC to express a favourable technical opinion about the implementation of the PAC π method for the measurement of PAPI unit elevation setting angle on French aerodromes.

5. ANNEXE(S) / ANNEX(ES)

A. SYNTHÈSE DES RESULTATS DE MESURE (1 PAGE) / SYNTHESIS OF THE MEASUREMENT RESULTS (1 PAGE)

FIN DU DOCUMENT / END OF DOCUMENT

Annexe / Annex A : Synthèse des résultats de mesure / Synthesis of measurement results

Mesure de l'angle de calage en site des unités de PAPI / Measurement of PAPI unit elevation setting angle

Lieu / Location : Aéroport de Toulouse Blagnac (ATB) / Toulouse Blagnac airport

Dispositif lumineux mesuré / Measured lighting system : PAPI installé pour approche sur la piste 32L / PAPI installed for approach on runway 32L

Dates / Dates : 06, 07 et 09 avril 2021 / April, 06th, 07th and 09th 2021



Angles de calage en site / Elevation setting angles

Valeur théorique / Theoretical value : 2°30' 2°50' 3°10' 3°30'

Valeur mesurée par l'alidade / Alidade-measured value : 2°39' 2°50' 3°10' 3°39'

DD Valeur d'angle en degrés décimaux / Angle value in decimal degrees

DM Valeur d'angle en degrés et minutes d'arc / Angle Value in degrees and arc-minutes

Participant Attendant		ATB / Géomètre ATB / Expert-surveyor						Participant Attendant		Pôle du contrôle en vol (DTI/CEV) Flight-checking section (DTI/CEV)						Participant Attendant		FB Technology									
Méthode Method		NACELLE LIFT PLATFORM						Méthode Method		CONTRÔLE EN VOL FLIGHT-CHECKING						Méthode Method		PAC π									
Source Source		Guide technique français de maintenance du balisage lumineux des aérodromes French technical guide on airfield lighting maintenance						Source Source		Guide technique français de maintenance du balisage lumineux des aérodromes French technical guide on airfield lighting maintenance						Source Source		Documentation fournie par FB Technology Documentation provided by FB Technology									
Distance (m) Distance (m)		150 Face à chaque unité de PAPI / In front of any PAPI unit						Distance (m) Distance (m)		/						Distance (m) Distance (m)		Mentionné ci-dessous pour chaque unité de PAPI Mentioned below for each PAPI unit									
Série de mesure Measurement series		1		2		3		Série de mesure Measurement series		1 (06/04/21)		2 (09/04/21)		3		Série de mesure Measurement series		1		2		3					
Piste Runway	Unité de PAPI PAPI unit	DD	DM	DD	DM	DD	DM	Piste Runway	Unité de PAPI PAPI unit	DD	DM	DD	DM	DD	DM	Piste Runway	Unité de PAPI PAPI unit	DD	DM	DD	DM	DD	DM				
32L	A		2°34'					32L	A		2°35'		2°38'			32L	A (9/8/10 m)	2,58°	2°35'	2,57°	2°34'	2,56°	2°33'				
			2°33'						B		2°48'		2°51'					2,58°	2°34'								
			2°33'							C				3°11'					2,57°	2°34'							
			2°32'							D			3°30'		3°36'					2,58°	2°34'						
			2°33'																2,56°	2°33'							
		B		2°45'														B (8 m)	2,83°	2°49'							
			2°45'														2,82°		2°49'								
			2°46'														2,82°		2°49'								
			2°45'														2,80°		2°48'								
		C		3°07'														C (6 m)	3,22°	3°13'							
			3°08'														3,25°		3°14'								
			3°08'														3,22°		3°13'								
			3°07'														3,22°		3°12'								
		D		3°27'														D (5 m)	3,20°	3°12'							
			3°27'														3,51°		3°30'								
			3°27'														3,50°		3°30'								
			3°27'														3,50°		3°29'								
			3°27'														3,50°		3°29'								

FIN DES ANNEXES / END OF ANNEXES