

DIFFUSION RESTREINTE

Annexe 1 : **Ordonnance of commission d'expert**

- APPENDICES -

DIFFUSION RESTREINTE

COUR D'APPEL DE PARIS Tribunal de Grande Instance de Paris Cabinet de Alain GAUDINO Vice-Président chargé de l'instruction en co-saisine avec Carole RAMET et Quentin DANDOY, juges d'instruction	ORDONNANCE DE COMMISSION D'EXPERT (Adjonction, à la demande de l'expert, de personnes nommément désignées, spécialement qualifiées, art.162 du CPP)
--	---

N° du Parquet : . 1413400160 .

N° Instruction : . 2108/15/5 .

PROCÉDURE CRIMINELLE

Le 03 août 2015,

Nous, Alain GAUDINO, Vice-Président chargé de l'instruction au tribunal de grande instance de Paris, étant
en notre cabinet,

Vu l'information suivie contre :

X.,

QUALIFICATIONS :

Réquisitoire Introductif du 24 avril 2015

• détournement d'aéronef ayant entraîné la mort de plusieurs personnes de nationalité française, en
relation avec une entreprise terroriste,

Faits commis entre KUALA LUMPUR (MALAISIE) et PEKIN (CHINE), le 8 mars 2014 (heure locale),

Au préjudice de :

- Laurence BEHERAY épouse WATTRELOS, née le 30 mars 1962 à DIEPPE (76),
- Hadrien WATTRELOS né le 12 février 1994 à LEVALLOIS-PERRET (92),
- Ambre WATTRELOS née le 28 novembre 2000 à LEVALLOIS-PERRET (92).

Faits prévus et réprimés par les articles 113-7, 113-11, 224-6, 224-7, 224-9, 224-10, 421-1, 421-3, 422-3,
422-4, 422-5 et 422-6 du Code pénal et les articles 203 et 706-16 du Code de procédure pénale,

ORDONNANCE DE DESSAISSEMENT de Quentin DANDOY, Juge d'Instruction au Tribunal de Grande Instance de Paris, le 22 juin 2015 (dossier d'information : 2386/14/17)

Réquisitoire Introductif du 07 mai 2014

• Homicide involontaire par manquement délibéré d'une obligation d' particulière de prudence ou de sécurité imposée par la loi ou le règlement (Vol MH370 de la Malaysia Airlines – 08 mars 2014),

Faits prévus et réprimés par les articles 221-6, 221-8, 221-10 du Code pénal,

Au préjudice de :

- Laurence BEHERAY épouse WATTRELOS, née le 30 mars 1962 à DIEPPE (76),
- Hadrien WATTRELOS né le 12 février 1994 à LEVALLOIS-PERRET (92),
- Ambre WATTRELOS née le 28 novembre 2000 à LEVALLOIS-PERRET (92).

Réquisitoire Supplétif du 26 août 2015

• Détournement d'aéronef ayant entraîné la mort de plusieurs personnes
Faits prévus et réprimés par les articles 224-6, 224-7, 224-9 du Code pénal

Au préjudice de :

- Laurence BEHERAY épouse WATTRELOS, née le 30 mars 1962 à DIEPPE (76),
- Hadrien WATTRELOS né le 12 février 1994 à LEVALLOIS-PERRET (92),
- Ambre WATTRELOS née le 28 novembre 2000 à LEVALLOIS-PERRET (92).

Parties Civiles :

- Mme BEHERAY Pascale ép. DERRIEN domiciliée 38 rue du Guet 92310 SEVRES ayant pour avocat : Me Stéphane OUALLI
- Mme TU Hualhong domiciliée chez Me DOSE Marie, 25 rue du Louvre 75001 PARIS ayant pour avocat : Me Marie DOSE
- M. WATTRELOS Alexandre domicilié 97 rue des Landes 78400 CHATOU ayant pour avocat : Me Stéphane OUALLI
- M. WATTRELOS Ghislain domicilié 97 rue des Landes 78400 CHATOU ayant pour avocat : Me Marie DOSE
- M. ZHAO Shugo domicilié chez Me DOSE Marie, 25 rue du Louvre 75001 PARIS ayant pour avocat : Me Marie DOSE

Vu les articles 156 et suivants du Code de Procédure Pénale;

Vu la désignation de :

Monsieur François GRANGIER
Expert en aéronautique
Inscrit sur la liste nationale de la Cour de Cassation

suivant mission en date du 30 juillet 2015;

Attendu que Monsieur GRANGIER, expert, Nous sollicite, conformément aux dispositions de l'article 162 du Code de procédure pénale, afin de l'autoriser à s'adjoindre un sachant spécialisé, en la personne de :

La Direction Générale de l'Armement – Techniques Aéronautiques (DGA-TA)
prise en la personne de Monsieur Jean-Christophe PLOTKA,
Sous-Directeur Technique de la DGA-TA
47, Rue Saint-Jean
31130 Balma

Expert non-Inscrit qui prêtera, vu l'urgence, serment par écrit dans les conditions prévues à l'article 160 du Code de procédure pénale;

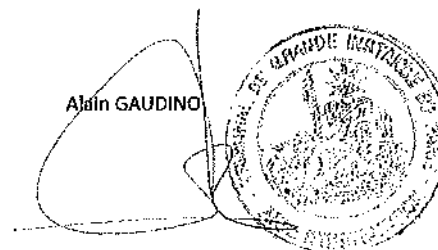
aux fins de procéder aux opérations ci-dessous indiquées.

L'expert remettra dans le meilleur délai, un rapport détaillé contenant son avis motivé et l'attestation qu'il a personnellement accompli la mission qui lui a été confiée.

Vu l'urgence et l'impossibilité de différer les opérations d'expertise et le dépôt des conclusions pendant un délai de dix jours, la présente ordonnance n'a pas été communiquée aux parties ; en conséquence, les opérations d'expertise peuvent commencer sans délai ;

le Vice-Président chargé de l'instruction

Alain GAUDINO



DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques aéronautiques

Annexe 2 : Prestation of serment



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



DIRECTION GÉNÉRALE
DE L'ARMEMENT

DGA Techniques aéronautiques

Tribunal de Grande Instance de Paris
Cabinet de M. Alain GAUDINO
Vice-président chargé de l'instruction

4 Boulevard du Palais
75 001 PARIS

Balma, le 22 SEP. 2015
N° 141534 /DGA TA/SDAR

Affaire suivie par :
Gracienne LENNE
Tél : 05 62 57 55 06
Fax : 05 62 57 55 04

e-mail : gracienne.lenne@intradef.gouv.fr

Objet : Ordonnance de commission d'expert (adjonction à la demande de l'expert, de personnes
nominativement désignées, spécialement qualifiées, art. 162 du CPP) du 03 août 2015

Références : N° du Parquet : 1413400160
N° d'instruction : 2108/15/5

P. jointe : Prestation de serment d'un expert

Monsieur le Juge,

Par votre ordonnance d'adjonction de spécialiste du 03 août 2015 relative à l'instruction
n° 2108/15/5, vous commettez DGA Techniques aéronautiques prise en la personne de monsieur Jean-
Christophe Plotka, Sous-Directeur Technique, afin d'assister monsieur François Grangier, expert judiciaire
désigné, dans le cadre de l'expertise technique d'un débris d'épave retrouvé sur l'île de la Réunion le
29/07/2015.

Conformément à votre demande, je désigne monsieur Christophe Bordes, expert à la
Division Matériaux et Technologies, pour conduire la mission au nom de DGA Techniques aéronautiques,
en liaison directe avec M. François Grangier.

Vous trouverez en pièce jointe la prestation de serment de l'expert.

Jean-Christophe PLOTKA
Sous-Directeur Technique
DGA Techniques aéronautiques

Direction générale de l'armement
DGA Techniques aéronautiques
47 rue Saint-Jean - BP n° 93123 - 31131 BALMA Cedex
Téléphone : +33 (0)5.62.57.57.57 - Télécopie : +33 (0)5.62.57.54.47

V.01/2010

DIFFUSION RESTREINTE

Cour d'Appel de Paris

**PRESTATION DE SERMENT
(EXPERT NON INSCRIT)**

**Tribunal de Grande Instance
de Paris**

Cabinet de GAUDINO Alain
Vice-Président chargé de l'instruction

N° du Parquet : . 1413400160
N° de l'Instruction : . 2108/15/5
PROCEDURE CRIMINELLE

En co-saisine avec Carole RAMET
et Quentin DANSOY, juges d'instruction

Le soussigné, Christophe Bordes désigné par Jean Christophe Plotka,
Sous-Directeur Technique de DGA Techniques aéronautiques, 47 rue Saint-Jean – BP 93123 – 31131 BALMA
Cedex, désigné en qualité d'expert par ordonnance du 03 août 2015 pour procéder aux opérations prévues
suivant ordonnance du 03 août 2015 relative à l'information contre :

X

QUALIFICATIONS :

Réquisitoire introductif du 24/04/2015

Détournement d'aéronef ayant entraîné la mort de plusieurs personnes de nationalité française, en
relation avec une entreprise terroriste,

Au préjudice de :

- Laurence BEHERAY épouse WATTRELOTS, née le 30 mars 1962 à DIEPPE (76)
- Hadrien WATTRELOTS né le 12 février 1994 à LEVALLOIS PERRET (92)
- Ambre WATTRELOTS née le 28 novembre 2000 à LEVALLOIS PERRET (92)

Faits commis entre KUAKA LUMPUR (Malaisie) et PEKIN (Chine), le 8 mars 2014 (heure locale)

Faits prévus et réprimés par les articles 113-7, 113-11, 224-6, 224-9, 224-10, 421-1, 421-3, 422-3, 422-4, 422-5 et 422-6 du Code pénal et les articles 203 et 706-16 du Code de procédure pénale,

Ordonnance de dessaisissement du 22/06/2015 dossier 14/17 cabinet de M. DANDOY :

- Réquisitoire introductif en date du 07/05/2014 : homicide involontaire par manquement délibéré d'une obligation particulière de prudence ou de sécurité imposée par la loi ou le règlement (vol MH370 de la Malaysia Airlines – 8 mars 2014 dans le sud Vietnam)

Victimes françaises : Laurence BEHERAY épouse WATTRELOTS, Ambre WATTRELOTS, Hadrien WATTRELOTS, Anne ZAHO,

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques aéronautiques

Frais prévus et réprimés par les articles 221-6, 221-8, 221-10 du code pénal (natinf 12279)

- Réquisitoire supplétif en date du 26/08/2014 : détournement d'aéronef aggravé par la mort d'une ou de plusieurs personnes,
Crime prévu et réprimé par les articles 224-6, 224-7 et 224-9 du code pénal (natinf 11513)

Et après avoir pris connaissance de la mission confiée, prête serment de bien et fidèlement la remplir en mon honneur et conscience.

Fait à Balma, le 18/09/2015

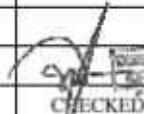
L'expert



Annexe 3 : Repair temporaire appliquée au Flaperon

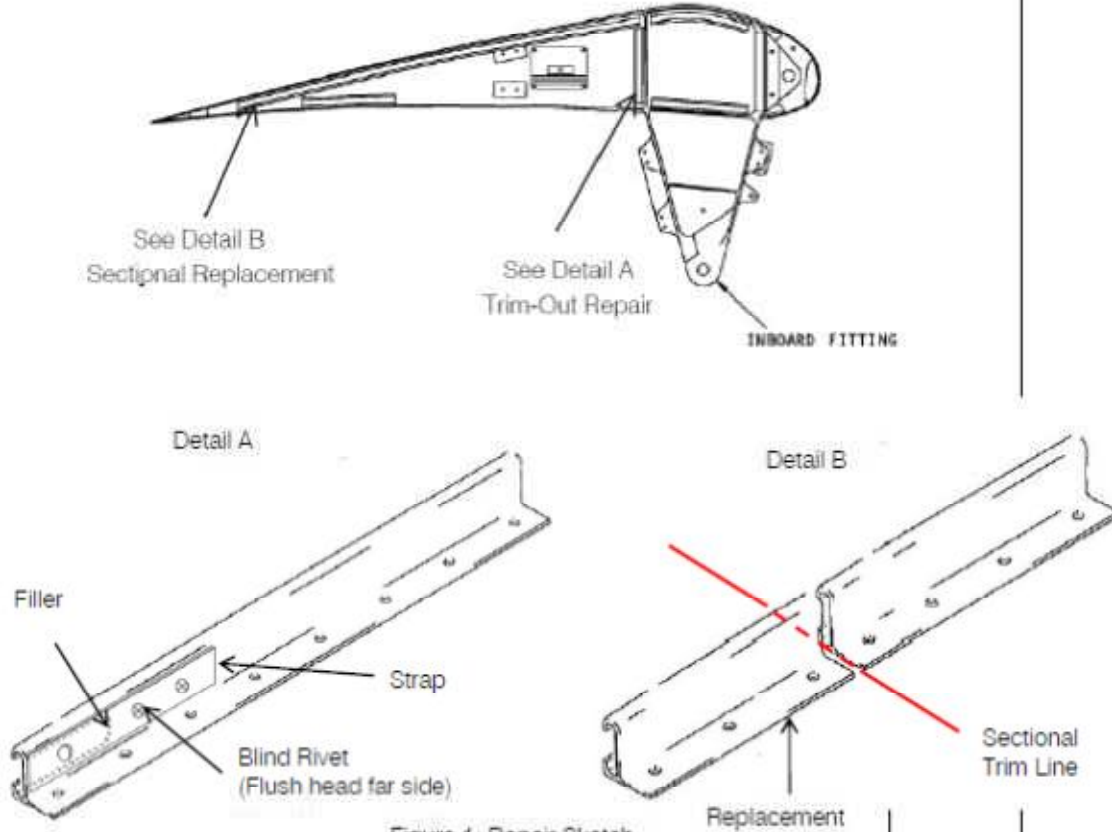
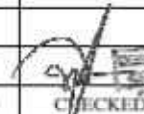
		TECHNICAL SERVICES ENGINEERING NOTE		77 EN- 57 - 20215		ISSUE A	
MAJOR / MINOR		ETOPS: YES / NO For ETOPS requirement, refer to resp. ETOPS MM		SHEET 1 OF 3		EMS NO: E1300190/T	
ACFT REGN/COMP/ENGINE TYPE:		9M-MRO		S/DOC:			
PART NUMBER: 113W6100-10		SERIAL NUMBER: WB175		DISTRIBUTION			
SUBJECT: RH WING - FLAPERON SEAL RETAINERS FOUND WITH SEAL SECURING FASTENER HOLE ELOGATED AND TORN - TEMPORARY REPAIR OF. (Ref : B777-200 IPC 57-63-51-01)				SNR MANAGER MAINTENANCE PLANNING		1	
				HEAD ENGINEERING MATERIALS		1	
				QUALITY ASSURANCE SUPT (TR)		1	
				AMU L4		1	
				ASM		1	
DESCRIPTION: During aircraft C-Check at KUL on Sep 2013, the RH Wing Flaperon Seal Retainers were inspected per SI/777/60/57 R01 and found with 3-off seal holes torn and 2-off seal holes elongated. Due to insufficient spares and nil SRM repair, only 3-off seal retainers were replaced. One of the seal retainers with a torn hole has to be partially replaced and the elongated hole is to be trim-out (final dimension 0.45" X 0.8"). Nil other damage was reported on the seal retainers, surrounding area and under-lying sub-structures. Detail Visual Inspection was also performed and found satisfactory. This EN provides the following instructions : 1. Trim-out the damage as shown in Figure 1 and maintain a 0.50" edge radius where applicable. 2. Perform DVI to surrounding seal retainer, skin and internal structure, nil further damages allowed. 3. Carry out a repair as per below as shown in Figure 1: a. For trim-out: (i) Fabricate a strap from 0.050" thick 2024-T3 Clad Sheet per AMS-QQ-A-250/5. (ii) Fabricate the filler to suit the trim-out section from 0.050" thick 2024-T3 Clad Sheet per AMS-QQ-A-250/5. (iii) Drill new holes for strap repair by temporarily assembling the repair parts. Maintain 2D edge distance. (iv) Disassemble these repair parts. (v) Remove the nicks, scratches, gouges, burrs, and sharp edges from the repair parts and the initial extruded section. Refer to 51-10-02, GENERAL. (vi) Apply a chemical conversion coating to the repair parts and the bare surfaces of the initial extruded section. Refer to 51-20-01, GENERAL. (vii) Apply two layers of BMS 10-11, Type I primer to the repair parts. Refer to SOPM 20-41-02. (viii) Install Strap and Filler using Blind Rivet P/N: CR3222-5-*. (ix) Apply the finish if necessary. (x) Reinstall the affected seal.				MECH. DATE		LIC/APP HLDG. DATE	
				SIGNATORY (REFER MMOE 2 - 16 - 00)			
REPETITIVE ACTION:		Para 5		TERMINATING ACTION:		Para 6	
FOLLOW UP ACTION: NIL AS SPECIFIED ABOVE							
D							
C							
B							
A	26-SEP-2013	INITIAL ISSUE		FITRI			
ISS:	DATE:	CHANGE		COMPILED	CHECKED	APPROVED	

DIFFUSION RESTREINTE

		TECHNICAL SERVICES ENGINEERING NOTE		77 EN- 57 - 20215		ISSUE A	
MAJOR / MINOR		ETOPS: YES / NO For ETOPS requirement, refer to exp. ETOPS MM		SHEET 2 OF 3		EMS NO: E1300190/T	
ACFT REGN/COMP/ENGINE TYPE:		9M-MRO		S/DOC:			
PART NUMBER: 113W6100-10		SERIAL NUMBER: WB175		DISTRIBUTION			
SUBJECT: RH WING - FLAPERON SEAL RETAINERS FOUND WITH SEAL SECURING FASTENER HOLE ELOGATED AND TORN - TEMPORARY REPAIR OF. (Ref: B777-200 IPC 57-63-51-01)				SNR MANAGER MAINTENANCE PLANNING		1	
				HEAD ENGINEERING MATERIALS		1	
				QUALITY ASSURANCE SUPT (TR)		1	
				AMU L4		1	
				ASM		1	
DESCRIPTION: b. For sectional replacement: (i) Trim and discard the damage area as shown in Figure 1. (ii) Remove the nicks, scratches, gouges, burrs, and sharp edges from the initial extruded section. Refer to 51-10-02, GENERAL. (iii) Apply a chemical conversion coating to the repair parts and the bare surfaces of the initial extruded section. Refer to 51-20-01, GENERAL. (iv) Apply two layers of BMS 10-11, Type I primer to the repair parts. Refer to SOPM 20-41-02. (v) Install a similar cross-section profile using Bolt P/N: BACB30NZ5K5 per CMM 57-63-05. (vi) Apply the finishing if necessary. (vii) Reinstall the affected seal. 4. Return area to serviceable conditions. 5. Perform DVI on repair area at every A-Check from 26-September-2013. Inform STSE (STR) of any adverse findings. [Estimated Total Elapse time = 0.5 hr] 6. Replace the affected seal retainers per CMM 57-63-05 prior to accomplishment of MB V13037 tentatively before 28 Jan 2014. 7. HEM to ensure the availability of the following: - QTY: 01 P/N: 113W6182-12, - QTY: 23 P/N: BACC30AB5C, - QTY: 05 P/N: BACB30NZ5K5 - QTY: 04 P/N: BACB30NZ5K4 - QTY: 14 P/N: BACB30NZ5K3 - QTY: 01 P/N: 113W6182-14 - QTY: 04 P/N: BACB30VT5HK3 - QTY: 03 P/N: BACB30VT5HK4 - QTY: 07 P/N: NAS1149DN823J - QTY: 07 P/N: BACN10YR08CD 8. QAS (Tech. Record) to note Para 5 & 6. HEM to note Para 7. Planning to schedule.				MECH DATE		LIC/APP HLDR DATE	
REPETITIVE ACTION: Para 5				TERMINATING ACTION: Para 6			
FOLLOW UP ACTION: NIL AS SPECIFIED ABOVE							
D							
C							
B							
A	26-SEP-2013	INITIAL ISSUE	FITRI				
ISS:	DATE:	CHANGE:	COMPILED	CHECKED	APPROVED		

Form No: 308008 R21 04/2013

APPROVAL NO: DOA/2012/03

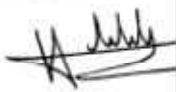
malaysia airlines		TECHNICAL SERVICES ENGINEERING NOTE		77 EN- 57 - 20215		ISSUE A	
MAJOR / MINOR:		ETOPS: YES / NO For ETOPS requirement, refer to temp. ETOPS MM		EMS NO: E1300190/T			
ACFT REGN/COMP/ENGINE TYPE: 9M-MRO				S/DOC:			
PART NUMBER: 113W6100-10		SERIAL NUMBER: WB175		DISTRIBUTION			
SUBJECT: RH WING - FLAPERON SEAL RETAINERS FOUND WITH SEAL SECURING FASTENER HOLE ELOGATED AND TORN - TEMPORARY REPAIR OF. (Ref : B777-200 IPC 57-63-51-01)				SNR MANAGER MAINTENANCE PLANNING		1	
				HEAD ENGINEERING MATERIALS		1	
				QUALITY ASSURANCE SUPT (TR)		1	
				AMU/LA		1	
				ASM		1	
DESCRIPTION:				MECH DATE:		LIC/APP HDR DATE:	
							
REPETITIVE ACTION: Para 5		TERMINATING ACTION: Para 6					
FOLLOW UP ACTION: NIL AS SPECIFIED ABOVE							
D							
C							
B							
A	26-SEP-2013	INITIAL ISSUE	FITRI				
ISS:	DATE:	CHANGE	COMPILED	CHECKED	APPROVED		

Form No: 308008 R21 04/2013

APPROVAL NO: DOA/2012/03

DIFFUSION RESTREINTE

Annexe 4 : Fiche d'analyse 62-15 – Analysis of the samples of paint

MTA	Fiche d'analyses		N°:62-15	1:14	
OT	P1501516001003				
Demandeur					
Programme	Expertise au profit du ministère de la justice				
Activité	Flaperon Boeing 777				
Travaux demandés objectif, contexte					
Analyses de toutes les peintures et comparaison avec les spécifications Boeing					
Documents d'entrées			Document de sortie		
CMM Boeing			Rapport simplifié		
			Rapport d'essai et/ou d'expertise		
			Fiche d'analyses MTA + compte rendu		
Spécimen, nature (état de surface), origine...					
Nombre de spécimens/ date mise à disposition :					
Précautions particulières (échantillon, personnel)					
Prévision	Responsable prestation MTA	Demandeur	Réalisation	Responsable prestation MTA	Garant technique MTA
Nombre d'heures	Nom :	Nom :		Nom : Hakenholz	Nom : Hakenholz
Fournitures	Date :	Date :		Date : 19/8/15	Date : 19/8/15
Début des travaux					
Fin des travaux					

NOTA : informations italiques remplies avec le demandeur par le responsable

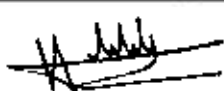
version : 02/2015

DIFFUSION RESTREINTE

MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	2/14
-----	------------------	----------	------

Analyse	Mode opératoire	Devis (H)	Réalisé (H)	Responsable de l'analyse
FTIR	DGATA N° 70 SCAT			Hakenholz
Coupe micrographique				Bottin
MEB/EDX	CEAT N°77 SCAT			Ben Rhouna

Fin de réalisation des analyses : 19/8/2015

Ecart	Validation (par le responsable de la prestation)
néant	

Traitements/ destination des spécimens et reliquats après analyse	
☐ Destruction	Date de reprise spécimens et prélèvements par le demandeur :
☐ Stockage local	
☐ Retour au demandeur	

NOTA : Zone grisée remplie avec le demandeur, zone blanche par MTA

version : 02/2015

DIFFUSION RESTREINTE

MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	3/14
-----	------------------	----------	------

1. GÉNÉRALITÉS

Données d'entrées : spécification de la peinture de finition utilisée en intrados et extrados spec BMS 10-72 type VIII ou IX, il s'agit d'une finition « topcoat » polyurethane avec charge de Ti.

Il existe, en l'état actuel de nos connaissances, 243 industriels pouvant formuler et commercialiser cette peinture conforme à la spec BMS 10-72 type VIII ou IX.

Les exigences de cette spec sont surtout des exigences de performances fonctionnelles (applicabilité, tenue aux environnements agressifs, dureté, durée de vie en pot etc...) et quelques exigences sur les composés de base majoritaires (nature chimique du liant et charge principale). Les additifs caractéristiques d'une formulation de peinture de type plastifiant, antioxydant etc... sont laissés à charge des formulateurs de peintures, seuls la tenue des exigences exprimées dans la spec compte.

On note quelques fournisseurs majeurs cependant : PPG aerospace avec la gamme Desothane et AKZO-Nobel avec la gamme Eclipse.

Plusieurs échantillons prélevés sur le flaperon sont à notre disposition :

- Système de peinture intrados
- Système de peinture extrados
- Système de peinture de la zone de « retouche » extrados

Sur la zone de retouche, le CMM Boeing recommande que cette zone du panneau composite soit protégée par un système de peinture de type BMS 10-86 I sur la finition BMS 10-60 II.

La peinture BMS 10-86 I est composée d'un liant polyurethane, et de particules de téflon conférant ainsi à cette zone du panneau des propriétés supplémentaires de tenue à l'usure par frottement.

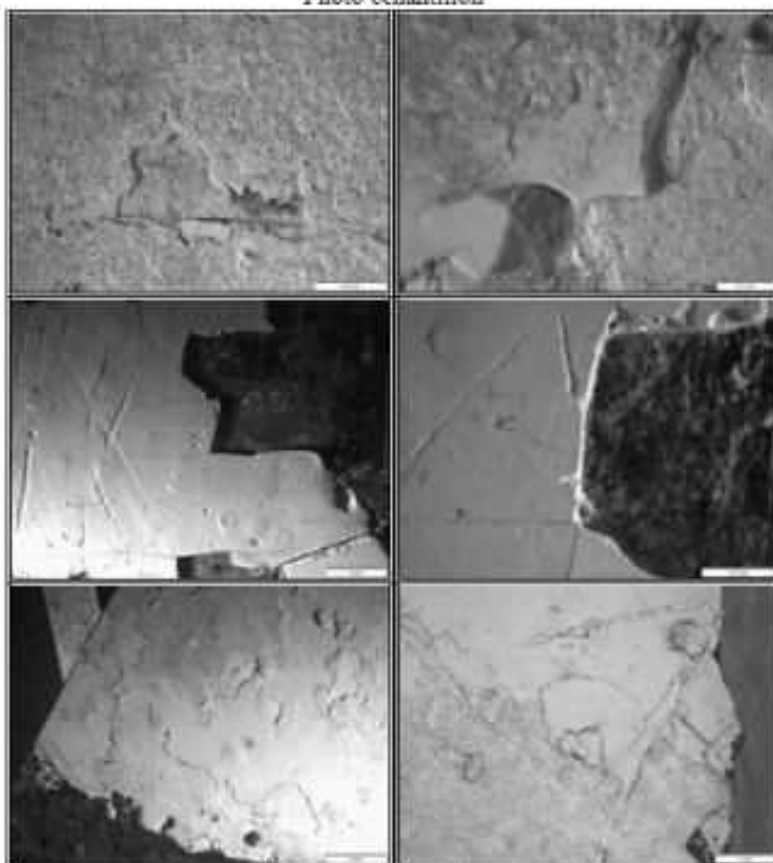
MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	4/14
-----	------------------	----------	------

2. RESULTATS DES ANALYSES

2.1. SYSTEME DE PEINTURE INTRADO

2.1.1. OBSERVATIONS MACRO

Photo échantillon



On constate une forte dégradation du système, la couche superficielle est par endroit suffisamment dégradée pour apercevoir les couches profondes plus granuleuses (aspect granité), on observe trois couches distinctes : primaire, intermédiaire, finition.

Différents types de dommages observés sur la peinture : faïençage, rayures et décollement.

2.1.1.1. OBSERVATION EN COUPE MICROGRAPHIQUE

Sur une zone la plus saine possible (avec les trois couches intègres) → coupe micrographique pour caractériser les systèmes de peinture en présence.

DIFFUSION RESTREINTE

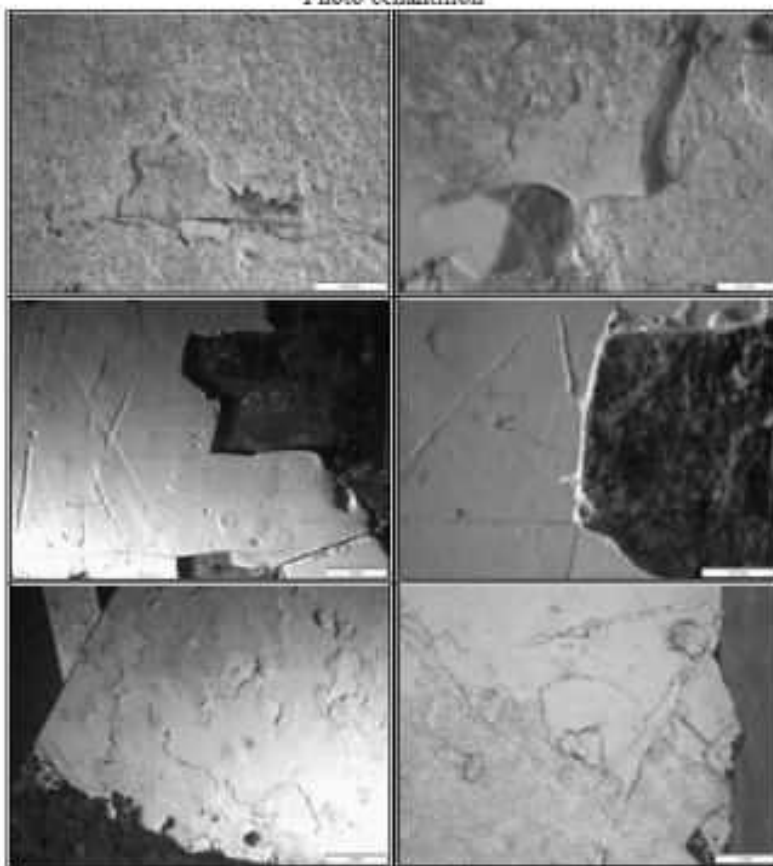
MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	4/14
-----	------------------	----------	------

2. RESULTATS DES ANALYSES

2.1. SYSTEME DE PEINTURE INTRADO

2.1.1. OBSERVATIONS MACRO

Photo échantillon



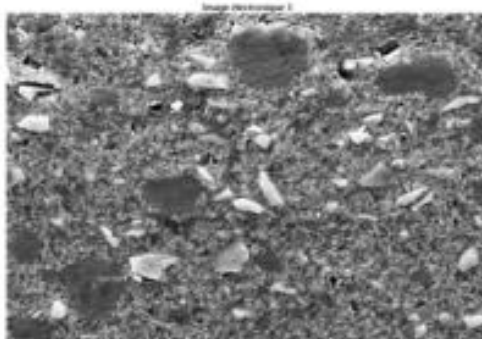
On constate une forte dégradation du système, la couche superficielle est par endroit suffisamment dégradée pour apercevoir les couches profondes plus granuleuses (aspect granité), on observe trois couches distinctes : primaire, intermédiaire, finition.

Différents types de dommages observés sur la peinture : faïençage, rayures et décollement.

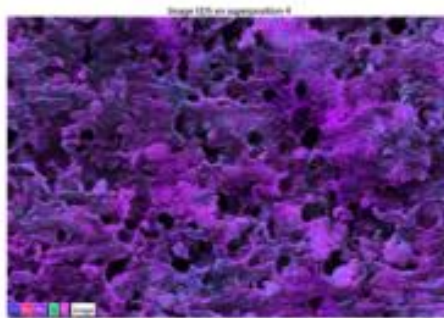
2.1.1.1. OBSERVATION EN COUPE MICROGRAPHIQUE

Sur une zone la plus saine possible (avec les trois couches intègres) → coupe micrographique pour caractériser les systèmes de peinture en présence.

MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	6/14
-----	------------------	----------	------



2. Couche intermédiaire moins chargée, nature des charges différentes avec plus d'oxyde de titane, taille plus faible des particules (inférieure à $2\mu\text{m}$) parfaitement enrobées par le liant. Eléments en présence : Ti, Ba, O, S



3. Couche de finition avec grains plus fins, moins de charges minérales. b éléments présents : Al, Ti, Ba, O et S.

L'ensemble forme un système de peinture fortement cohésif.

2.1.3. FTIR

2.1.3.1. CONDITIONS OPERATOIRES

Menées au moyen du spectromètre Nicolet 380 Thermo, sur la plage $4000\text{--}400\text{cm}^{-1}$ selon le mode opératoire DGA TA 70-SCAT en mode ATR.

DIFFUSION RESTREINTE

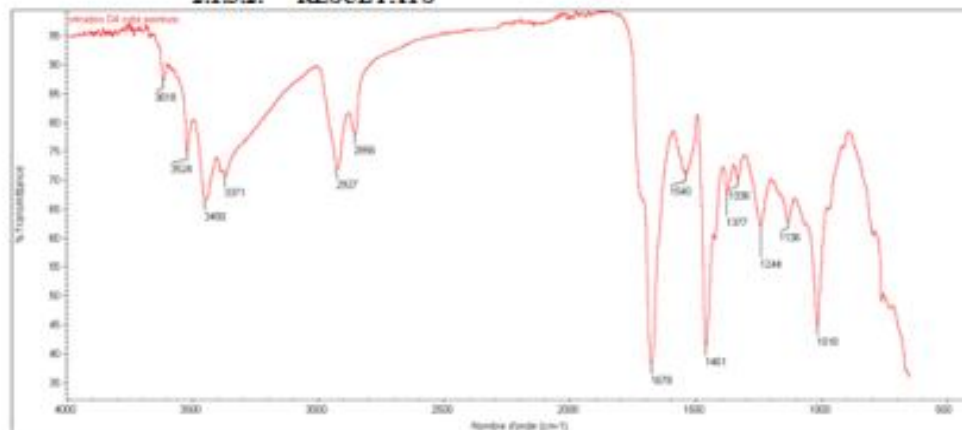
MTA

Fiche d'analyses

N°:62-15

7/14

2.1.3.2. RESULTATS



Polyuréthane avec cyanate aromatique

Spectre IRTF de la peinture, revêtement blanc : polyuréthane	
Attribution des principales bandes d'absorption	
Bandes caractéristiques (cm ⁻¹)	Attribution
3524, 3450	ν C-H aromatiques
3371	ν N-H de l'uréthane
2927, 2856	ν C-H du groupement méthylène et méthyle
1726	ν C=O de l'uréthane
1678	ν C=O de l'urée
1540	δ N-H et C-N
1461, 1377, 1336	δ C-H
1244	ν -C-O-C et N-CO-O
1136	C-O-C
1018	γ -C-H du groupement méthylène

2.1.3.3. CONCLUSION

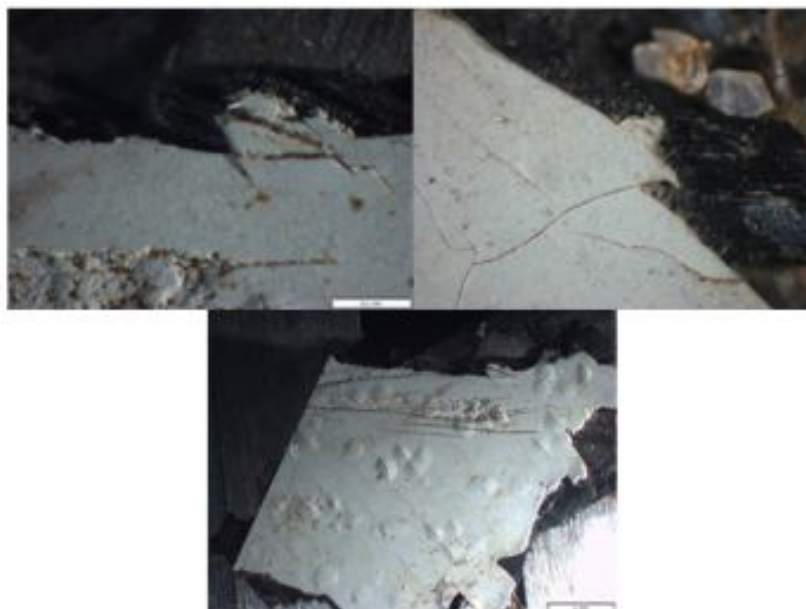
Les systèmes de peinture utilisé est conforme aux spec du CMM

2.2. SYSTEME DE PEINTURE EXTRADOS

2.2.1. OBSERVATIONS MACRO

Photo échantillon

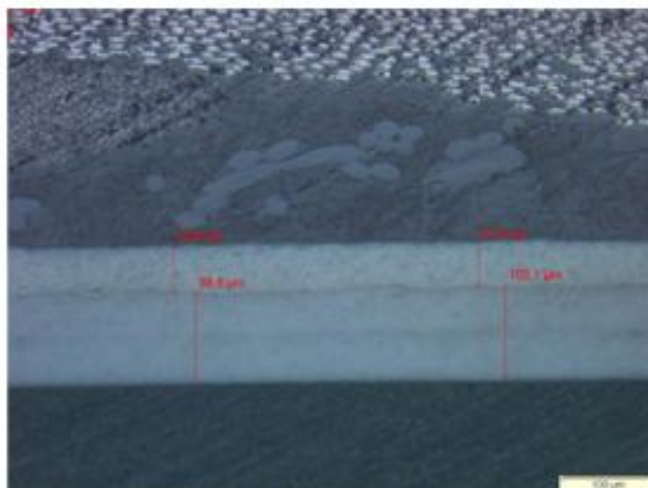
MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	8/14
-----	------------------	----------	------



2.2.1.1. CONCLUSION

Peinture qui présente une structure intégrée en comparaison avec l'échantillon de peinture intrados, faïençage présent néanmoins avec rayures. Cloquage présent liés à l'osmose.

2.2.2. MICROGRAPHIE, MICROSCOPIE OPTIQUE



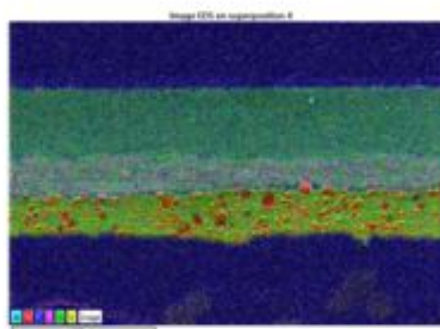
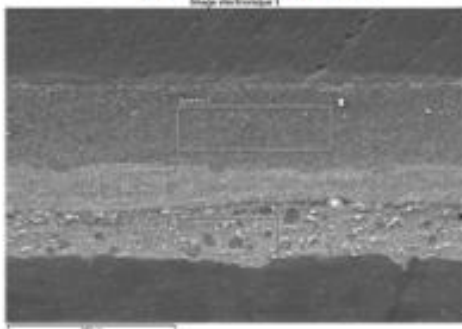
En extrados, le primaire mesure 50µm d'épaisseur et les couches superficielles environ 100µm.

DIFFUSION RESTREINTE

MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	9/14
-----	------------------	----------	------

2.2.3. MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE ET EDS

2.2.3.1. RESULTATS

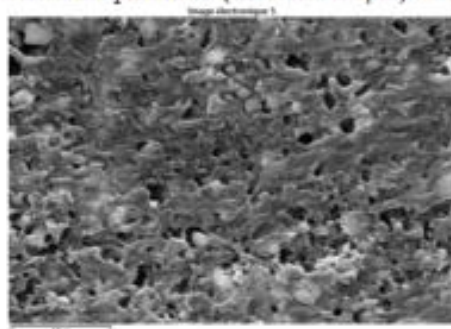


L'on distingue trois couches distinctes, de bas en haut :

1. Primaire fortement chargé, grains de alumino-silicates de formes irrégulières tailles de grains 5 à 10µm , charges oxyde de titane plus fines (inférieures à 2µm) et ensemble amalgamé liant/charge très cohésif. Eléments en présence : Ti, Si, O



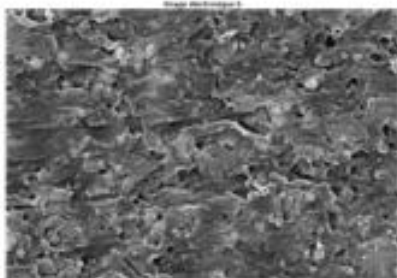
2. Couche intermédiaire moins chargée, nature des charges différentes avec plus d'oxyde de titane, taille plus faible des particules (inférieure à 2µm) . éléments en présence : Ti, Ba, S.



3. Couche de finition avec grains plus fins, moins de charges minérales. Eléments en présence : Al, Ti, O.

DIFFUSION RESTREINTE

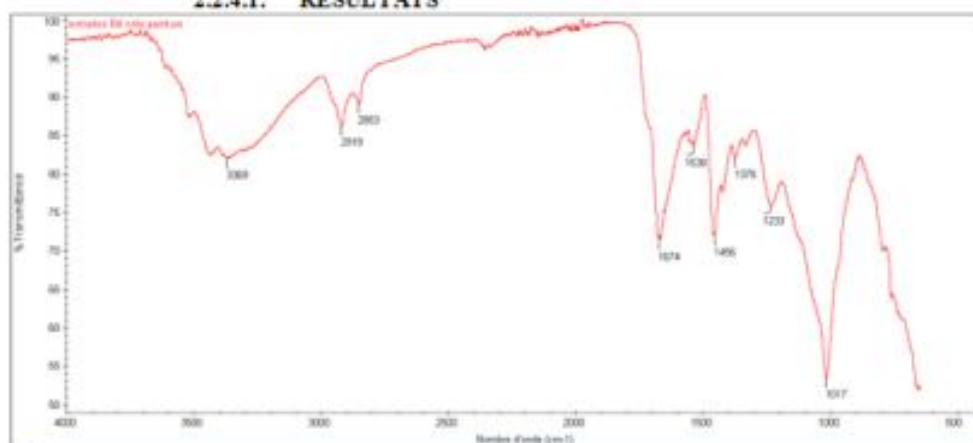
MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	10/14
-----	------------------	----------	-------



L'ensemble forme un système de peinture fortement cohésif.

2.2.4. FTIR

2.2.4.1. RESULTATS



Spectre IRTF de la peinture, revêtement blanc : polyuréthane

Attribution des principales bandes d'absorption

Bandes caractéristiques (cm ⁻¹)	Attribution
3524, 3450	v C-H aromatiques
3369	v N-H de l'uréthane
2919, 2853	v C-H du groupement méthylène et méthyle
1726	v C=O de l'uréthane
1674	v C=O de l'urée
1538	δ N-H et C-N
1456, 1376	δ C-H
1233	v -C-O-C et N-CO-O
-	C-O-C
1017	γ -C-H du groupement méthylène

Ce système est conforme aux spécifications du CMM.

MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	11/14
-----	------------------	----------	-------

2.3. SYSTEME DE PEINTURE EXTRADO ECHANTILLON REPARATION

2.3.1. OBSERVATIONS MACRO

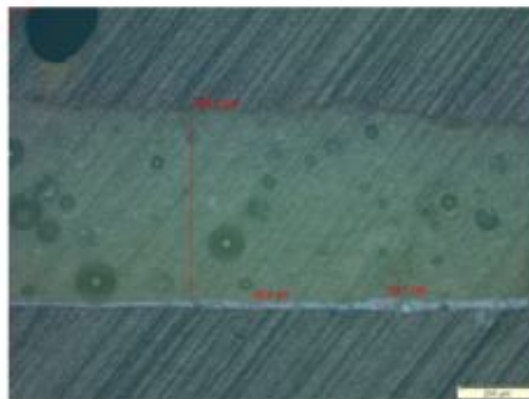


2.3.1.1. CONCLUSION

Sur cet échantillon, on observe visuellement : résine du panneau composite (empreinte du tissage carbone), couche de peinture blanche, et une couche épaisse de peinture verte.

2.3.2. MICROGRAPHIE, MICROSCOPIE OPTIQUE

2.3.2.1. RESULTATS

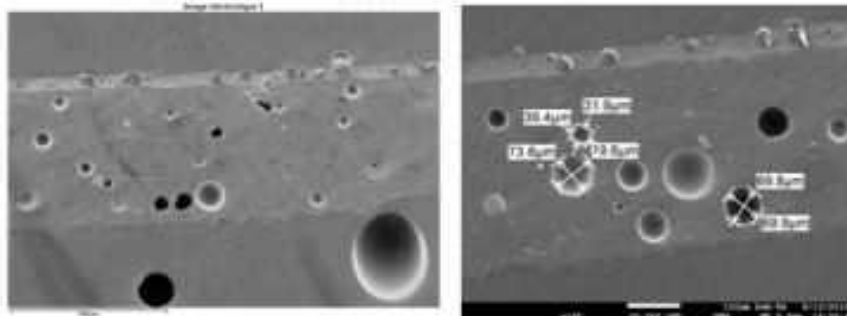


- Primaire 500µm d'une peinture verte
- Finition 20µm

MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	12/14
-----	------------------	----------	-------

2.3.3. MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE ET EDS

2.3.3.1. RESULTATS

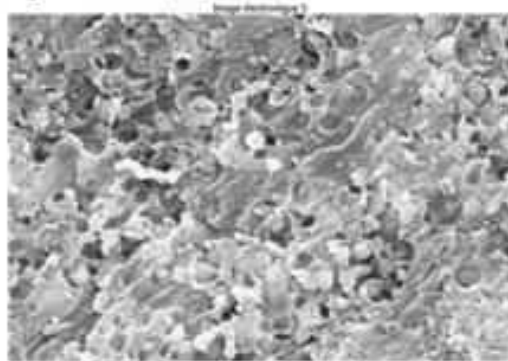


2.3.3.2. CONCLUSION

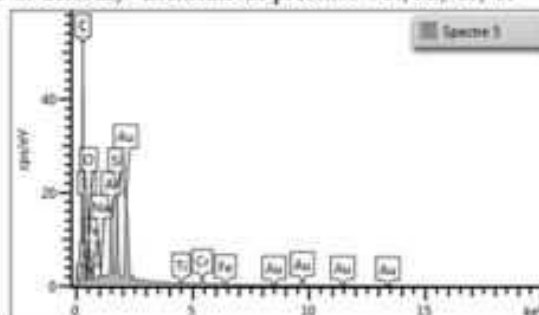
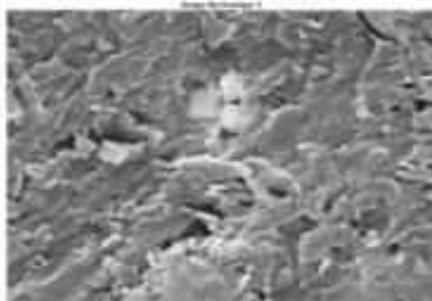
Deux couches observées :

1. Zones hétérogènes dans la peinture de finition, répartition différentielles des charges d'oxyde de Titane, les zones apparaissant plus sombres sont des zones pauvres en charges ou seul est présent le polymère du liant. NaCl présent en surface.

Eléments en présence : Ti, Si, Al.



2. Couche « verte » épaisse, poreuse, avec présence importante de Silicates d'aluminium et de pigment chromique (mis en évidence par spectre EDS 5 ci-dessous). Eléments en présence : Si, Al, Cr, Ti



Les porosités sphériques (bulles de gaz qui se créent probablement lors de l'application) sont de quelques dizaines de μm . (30 à 80 μm de diamètre)

DIFFUSION RESTREINTE

MTA

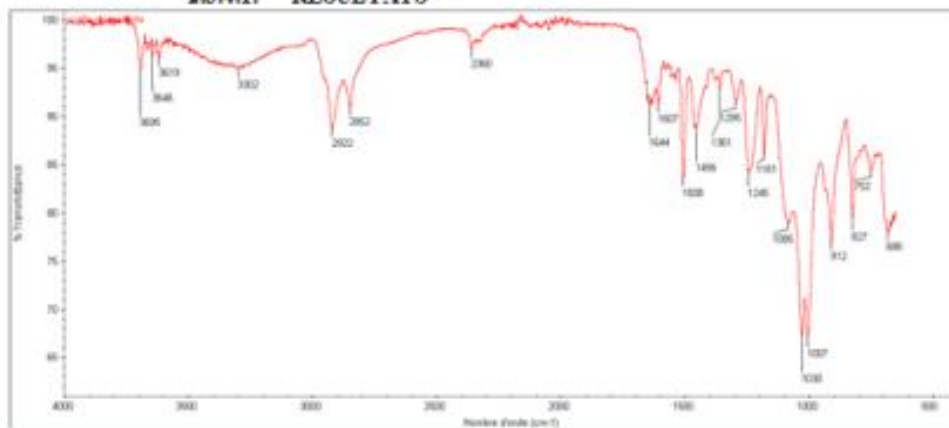
Fiche d'analyses

N°:62-15

13/14

2.3.4. FTIR

2.3.4.1. RESULTATS

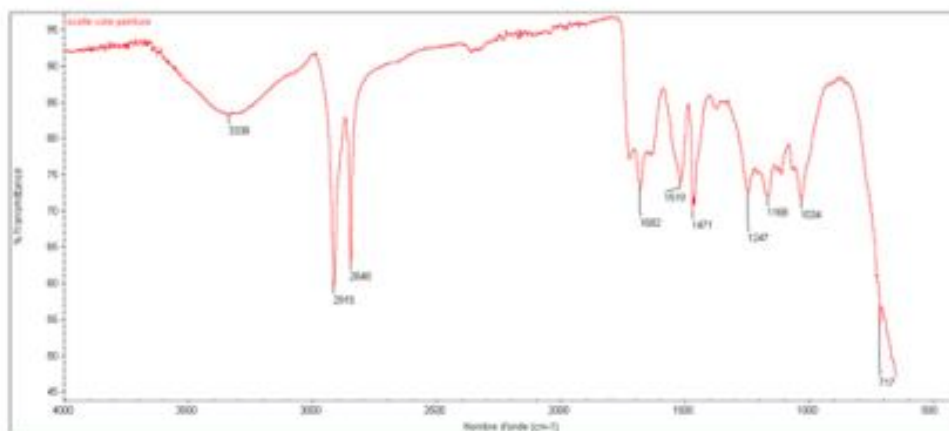


Résine verte epoxy

Spectre IRTF de la peinture polymérisée : Epoxyde

Attribution des principales bandes d'absorption

Bandes caractéristiques (cm ⁻¹)	Attribution
	Ph-OH
3056	CH-O-CH ₂ (oxirane)
3030	= C-H Aromatique
2922	-CH ₂ - , -CH ₃ - assym
2852	-CH ₂ - , -CH ₃ - sym
1607 - 1580 - 1508	-C=C-H Aromatique
1456 - 1362	-CH ₂ - , -CH ₃ -
1245 - 1181	-C-C-O-C-
1030	-C-O-C-
912	CH ₂ -O-CH epoxy (oxirane)
827	substitution 1,4 du cycle aromatique



Peinture blanche top coat

DIFFUSION RESTREINTE

MTA	Fiche d'analyses	N°:62-15	14/14
-----	------------------	----------	-------

Spectre IRTF de la peinture, revêtement blanc : polyuréthane	
Attribution des principales bandes d'absorption	
Bandes caractéristiques (cm^{-1})	Attribution
3524, 3450	ν C-H aromatiques
3371	ν N-H de l'uréthane
2927, 2856	ν C-H du groupement méthylène et méthyle
1726	ν C=O de l'uréthane
1678	ν C=O de l'urée
1540	δ N-H et C-N
1461, 1377, 1336	δ C-H
1247	ν -C-O-C et N-CO-O
1136	C-O-C
717	γ -C-H du groupement méthylène

2.3.4.2. CONCLUSION

La peinture de finition est conforme à la spec du CMM (BMS 10-60 II).

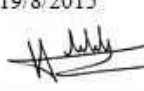
En revanche on ne retrouve ni la peinture de type BMS 10-86 I (Téflon) sur finition BMS 10-60 II, ni le primaire :

On retrouve en effet l'utilisation d'une peinture primaire epoxy verte (avec charges chromiques). Ce primaire n'est pas de type BMS 10-103 type I comme préconisé dans le CMM. Mais plutôt de type BMS 10-79 type III.

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques aéronautiques

Annexe 5 : Fiche d'analysis 63-15 – Analysis at the level d'une glissière joint moulding

MTA	Fiche d'analyses		N°:63-15	1/8
OT	P1501516001003			
Demandeur				
Programme	Expertise au profit du ministère de la justice			
Activité	Flaperon Boeing 777			
Travaux demandés objectif, contexte				
Glissière boeing 777, identification matière des composés en présence				
Documents d'entrées		Document de sortie		
CMM 57-63-05 Boeing		Rapport simplifié		
		Rapport d'essai et/ou d'expertise		
		☒ Fiche d'analyses MTA + compte rendu		
Spécimen, nature (état de surface), origine...	Dépôt d'une glissière support de joint mise sous scellé.			
Nombre de spécimens/ date mise à disposition :	2 prélèvements de peinture, pièce métalliques (3prises d'essai de 200mg), examen complet optique et micrographique de la pièce en expertise			
Précautions particulières (échantillon, personnel)				
Prévision	Responsable prestation MTA	Demandeur	Réalisation	Garant technique MTA
Nombre d'heures	Nom :	Nom :	30	Nom : Hakenholz
Fournitures	Date :	Date :		Date : 19/8/2015
Début des travaux			10/8/2015	
Fin des travaux			19/8/2015	

NOTA : informations italiques remplies avec le demandeur par le responsable

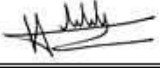
version : 02/2015

DIFFUSION RESTREINTE

MTA	Fiche d'analyses	N°:63-15	2/8
-----	------------------	----------	-----

Analyse	Mde opératoire	Devis (H)	Réalisé (H)	Responsable de l'analyse
FTIR	DGA/TA N° 70 SCAT		2	Hakenholz
MEB/EDX			12	Ben Rhouma
ICP	DGA/TA N° 81 SCAT		8	Hakenholz
Coupe micrographique			8	Bottin

Fin de réalisation des analyses : 19 août 2015

Ecart	Validation (par le responsable de la prestation)
néant	

Traitements/ destination des spécimens et reliquats après analyse	
☐ Destruction	Date de reprise spécimens et prélèvements par le demandeur :
☐ Stockage local	
☐ Retour au demandeur	

NOTA : Zone grisée remplie avec le demandeur, zone blanche par MTA

version : 02/2015

DIFFUSION RESTREINTE

MTA	Fiche d'analyses	N°:63-15	3/8
-----	------------------	----------	-----

1. GÉNÉRALITÉS

Données d'entrées du CMM :

La glissière ou seal retainer est en Alliage Al 6061 protégée par une OAB (oxydation anodique Borique). Revêtue d'un système de peinture composée de deux couches :

1. Primaire epoxy répondant aux spécifications BMS 10-79 III
2. Revêtement polyurethane répondant aux spécifications BMS 10-60 I

2. RESULTATS DES ANALYSES

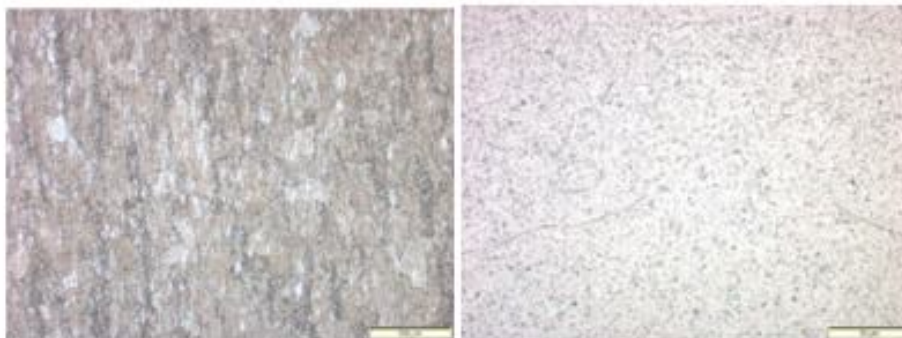
2.1. ANALYSE SUBSTRAT ET TRAITEMENT DE SURFACE

2.1.1. ICP

	Si	P	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Co	Ti	Zr	Ba	Li	Pb	Sr	Sb	Al
éléments	6,63	0,22	0,23	0,015	0,35	0,008	0,004	0,004	0,000	0,017	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	88,8
normalisés*	0,04	0,01	0,01	0,002	0,03	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	même résultat
* Ne sont pas déterminés à l'ICP																	
Rapport de l'analyse ICP par des normes de référence pour des alliages Al 6061																	
6061	0,40-0,50	<0,10	0,10-0,40	<0,10	0,30-1,30	0,04-0,10	<0,05	<0,25	<0,05	<0,10	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Les résultats de l'analyse ICP correspondent à celle de la nuance 6061, conformément à ce qui est indiqué dans le CMM.

2.1.2. MICROSTRUCTURE DU SUBSTRAT ALUMINIUM



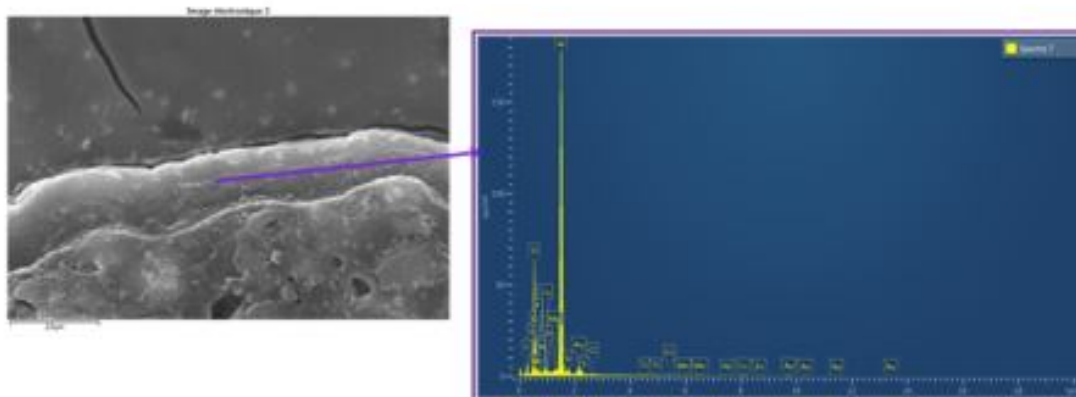
La microstructure observée est cohérente par rapport à cette nuance d'aluminium 6061.

2.1.1. DURETE BRINELL ET CONDUCTIVITE

Les valeurs de dureté Brinell (99 HB1/10 en moyenne) et de conductivité (25.2 MS/m en moyenne) correspondent à l'alliage 6061 à l'état T6 selon l'IGC 04.02.110B.

DIFFUSION RESTREINTE

MTA	Fiche d'analyses	N°:63-15	4/8
-----	------------------	----------	-----

2.1.2. MEB EDS

On observe clairement la couche d'anodisation. Celle-ci mesure de 1 à 2µm d'épaisseur. Selon le CMM, il s'agit d'une couche anodisation à l'acide borique. A noter que le bore ne peut être détecté avec cette technique (élément léger).

2.1.3. CONCLUSION

Matériaux conforme aux spécifications du CMM concernant l'item « seal retainer »

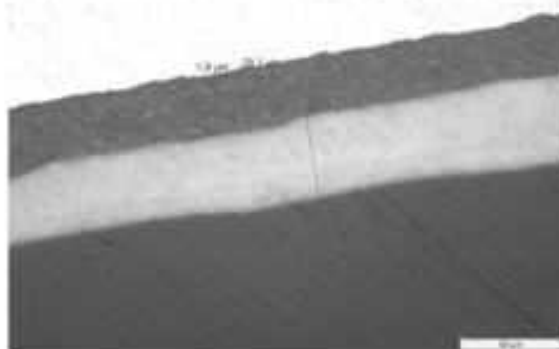
DIFFUSION RESTREINTE

MTA	Fiche d'analyses	N°:63-15	5/8
-----	------------------	----------	-----

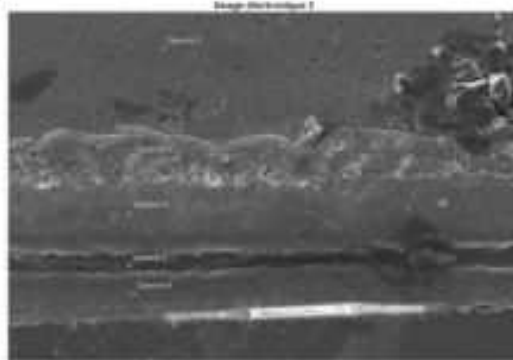
2.2. SYSTEME DE PEINTURE

2.2.1. OBSERVATIONS OPTIQUES

En micrographie optique on distingue nettement, la couche d'anodisation du substrat de 2µm d'épaisseur, la primaire anticorrosion de 30µm d'épaisseur environ, la peinture de finition sur 40µm environ.



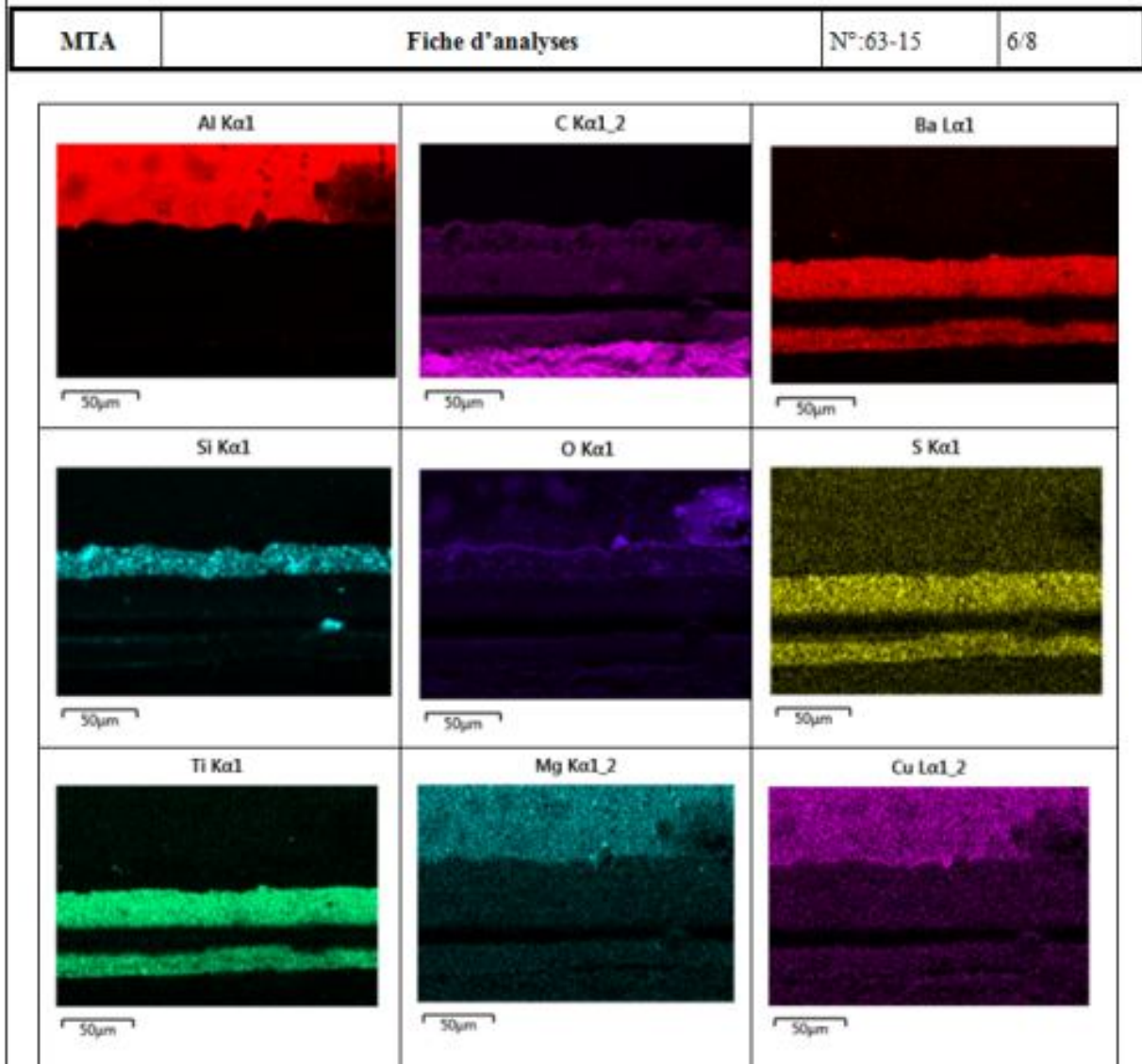
2.2.2. MEB EDS



Le système de peinture se compose de trois couches distinctes :

1. Primaire, directement sur la couche d'anodisation. Eléments en présence : Si, O.
2. Deux couches de peinture de finition identique en termes de répartition des charges. Eléments en présence : Ti, Ba, S

Les deux couches présentent une décohésion à l'interface certainement liée au vieillissement du système résultant de son exposition à l'eau de mer (phénomène de cloquage)



Cartographie par EDS des éléments présents dans la coupe micrographique.

DIFFUSION RESTREINTE

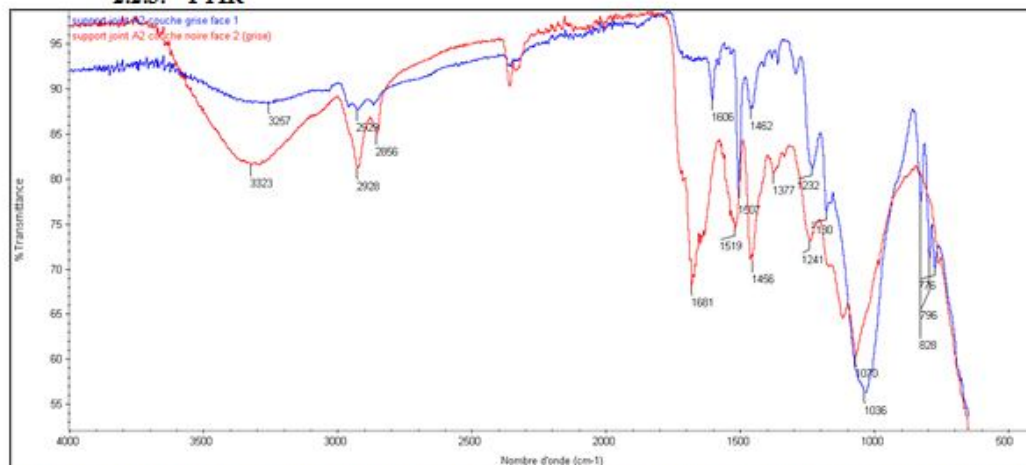
MTA

Fiche d'analyses

N°:63-15

7/8

2.2.3. FTIR



On identifie deux liants différents sur les couches analysées : un primaire epoxy et une finition polyuréthane
Identification et attribution des fonctions chimiques

Tracé rouge couche de finition polyuréthane, cyanate aliphatique:

Spectre IRTF de la peinture, revêtement blanc : polyuréthane	
Attribution des principales bandes d'absorption	
Bandes caractéristiques (cm ⁻¹)	Attribution
3323	ν N-H de l'uréthane
2928, 2856	ν C-H du groupement méthylène et méthyle
1720	ν C=O de l'uréthane
1681	ν C=O de l'urée
1519	δ N-H et C-N
1456, 1377	δ C-H
1241	ν -C-O-C et N-CO-O
1136	C-O-C
1070	γ -C-H du groupement méthylène

Tracé bleu, couche de primaire epoxy :

Spectre IRTF de la peinture polymérisée : Epoxyde	
Attribution des principales bandes d'absorption	
Bandes caractéristiques (cm ⁻¹)	Attribution
3056	CH-O-CH ₂ (oxirane)
2922	-CH ₂ - , -CH ₃ - assym
2852	-CH ₂ - , -CH ₃ - sym
1606 - 1507	-C=C-H Aromatique
1456 - 1362	-CH ₂ - , -CH ₃ -
1180	-C-C-O-C-
1036	-C-O-C-
827	substitution 1,4 du cycle aromatique

MTA	Fiche d'analyses	N°:63-15	8/8
-----	------------------	----------	-----

2.2.4. CONCLUSIONS

Le système de peinture est conforme aux spécifications du CMM concernant l'item « Seal retainer »

DIFFUSION RESTREINTE

Annexe 6 : **Metrological inspection**

Page 1/12

DGA Techniques Aéronautiques
Etablissement de Toulouse
Division « Ingénierie des moyens d'essai »
Section : Mesures en laboratoire
Affectation : IML

RAPPORT DE CONTROLE

N°L-45-2015

DESTINATAIRE(S) : BORDES Christophe ENTITE : MT/MTI

CONTROLE EFFECTUE :

Mesure de point sur flaperon du Boeing 777

OPERATEURS : LAVAL Claude

DATE DU CONTROLE : 06/08/2015

DATE D'EMISSION : 07/08/2015

L'AGENT TECHNIQUE DE MESURE

Claude LAVAL



DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 2/12

1. OBJET DU CONTROLE

Flaperon Boeing 777

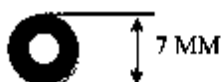
2. BUT DU CONTROLE

Mesurer dans un référentiel lié au flaperon la position de points significatifs.

3. MOYENS UTILISES

Système de mesure par photogramétrie TRITOP

Diamètre extérieur des pastilles d'acquisition des points :



4. INCERTITUDE DU MOYEN DE MESURE

$U = \pm 5 \mu\text{m} + 7\mu\text{m} \cdot L$ L en mètres

Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 3/12

5. REFERENTIEL

Plan Z : 3 points : Pt1 plan Z - Pt2 plan Z - Pt3 plan Z



Pt 3 plan Z

Pt 2 plan Z

Pt 1 plan Z



Axe des Y : Intersection plan Y et plan Z

Plan Y : 3 points : Pt1 plan Y - Pt2 plan Y - Pt3 plan Y



Pt 1 plan Y

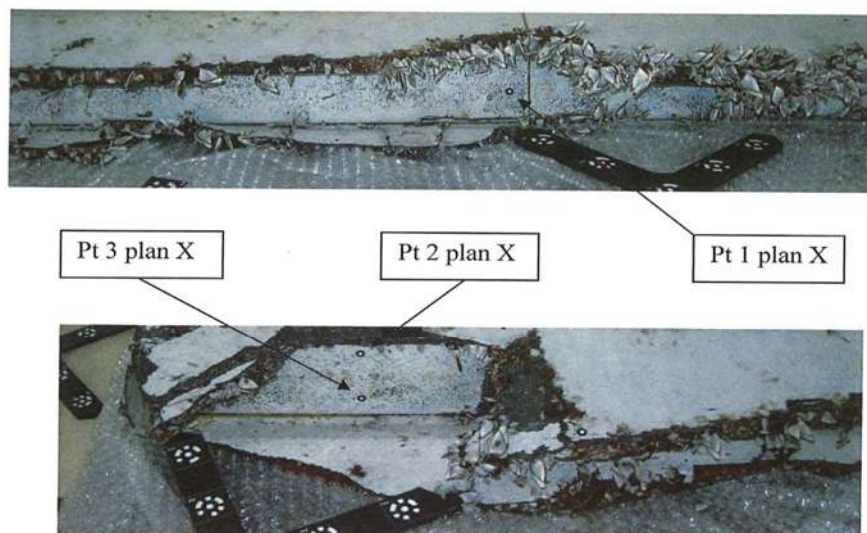
Pt 2 plan Y

Pt 3 plan Y

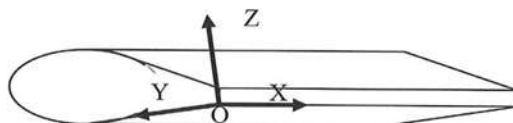
Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 4/12

Axe des X : Intersection plan X et plan Z

Plan X : 3 points : Pt1 plan X - Pt2 plan X - Pt3 plan X



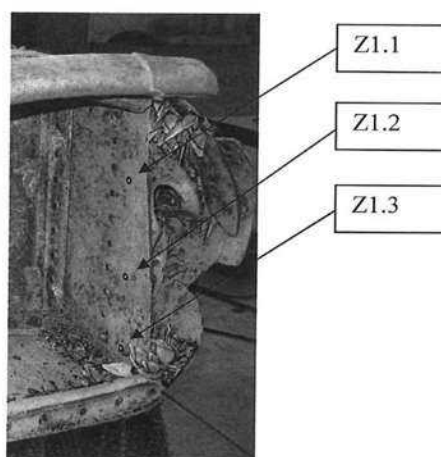
Origine du repère : intersection plan Z, plan Y, plan Z



Toutes les coordonnées des points dans la suite du rapport sont données dans ce référentiel

6. REPERAGE DES POINTS PAR ZONE

Points Zone 1

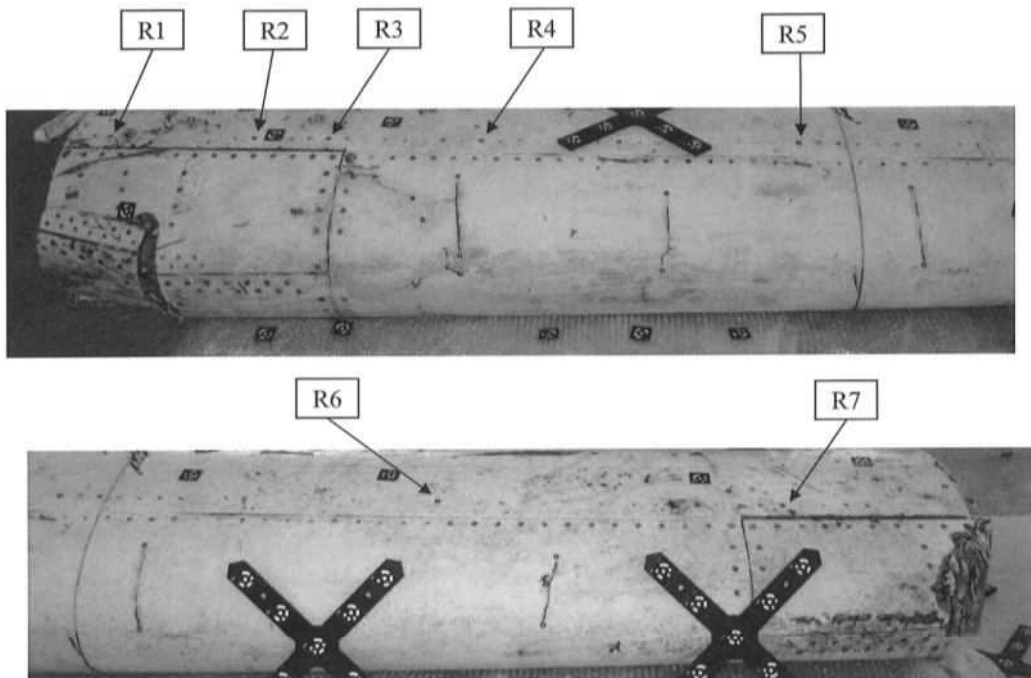


DIFFUSION RESTREINTE

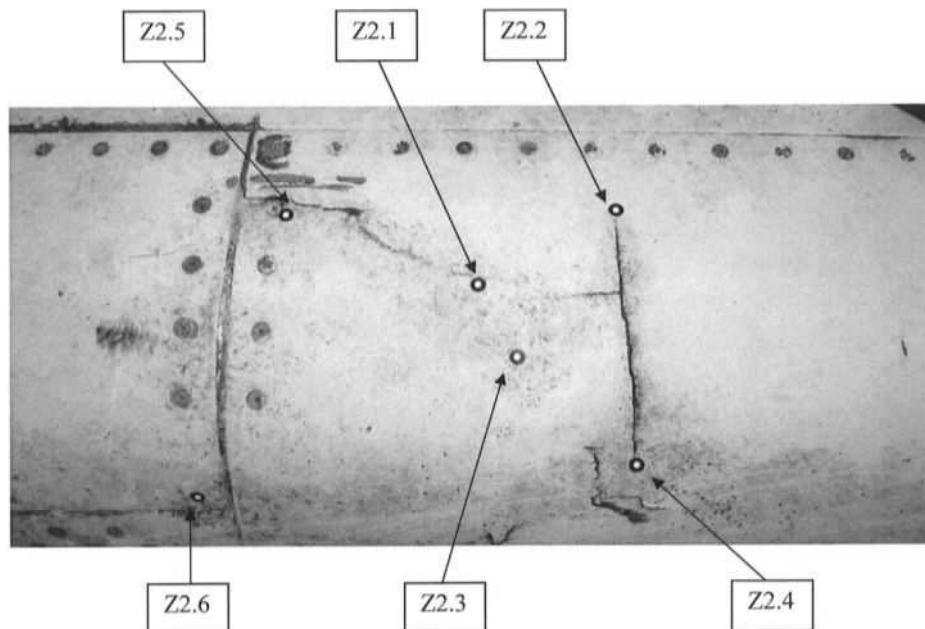
DGA Techniques aéronautiques

Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 5/12

Ligne de rivets

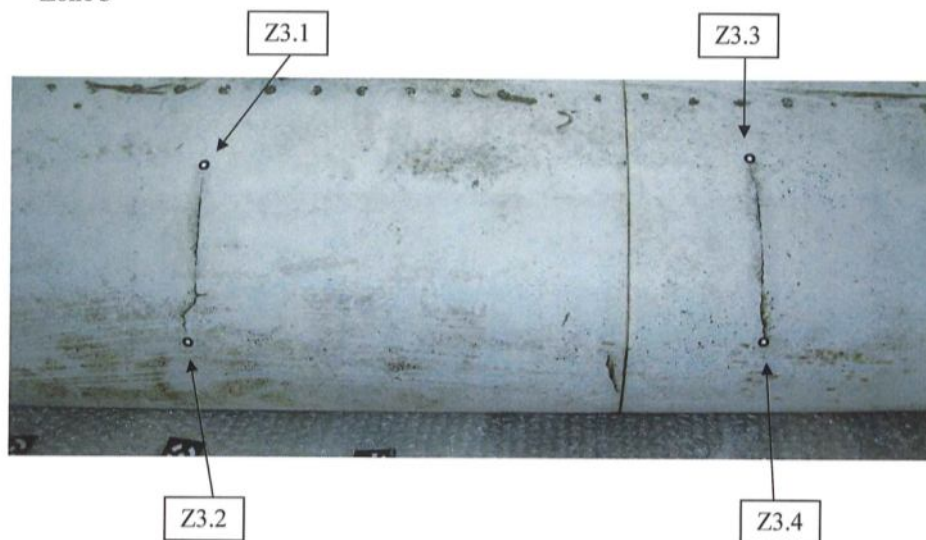


Zone 2

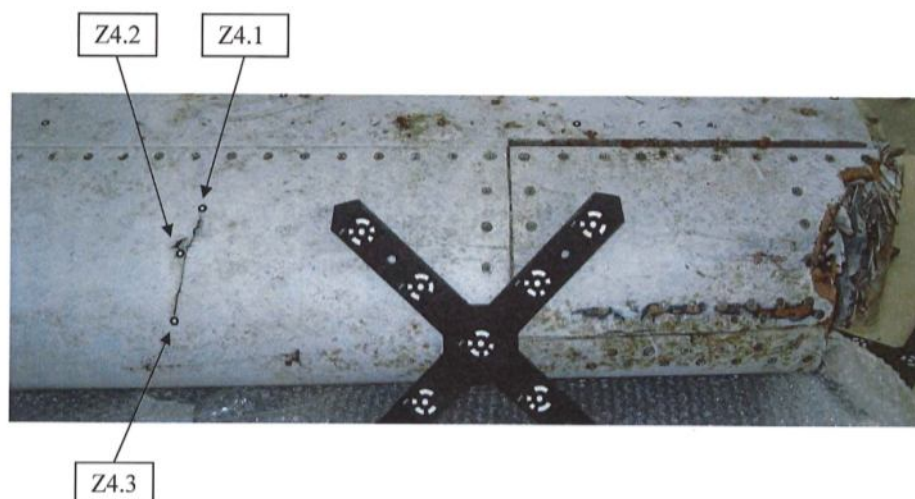


Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 6/12

Zone 3



Zone 4



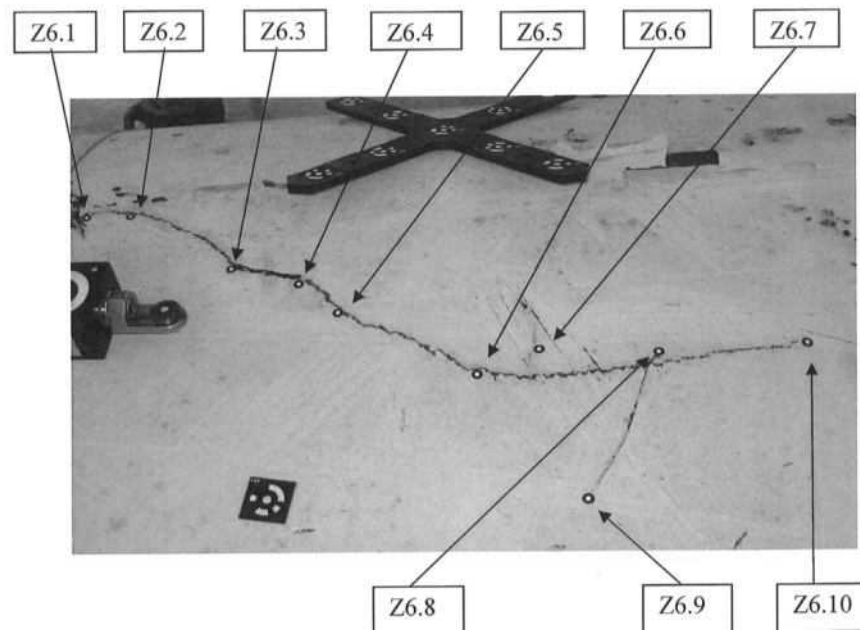
Zone 5



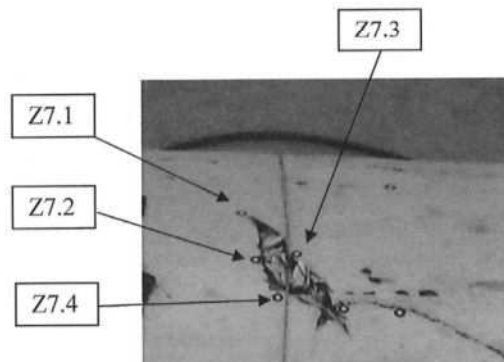
DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 7/12

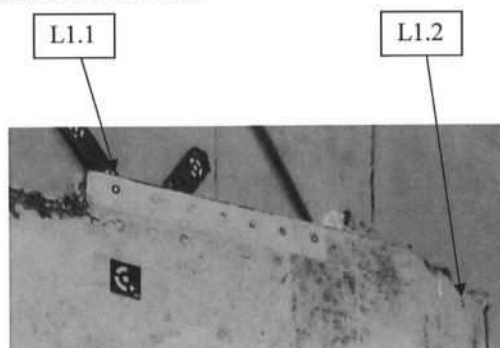
Zone 6



Zone 7



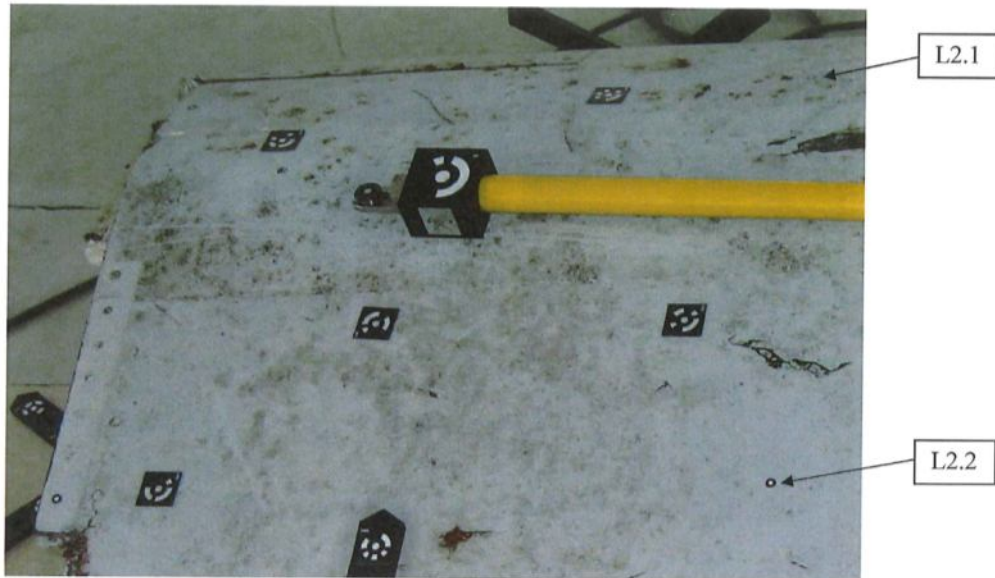
Ligne 1 : point positionné sur les rivets



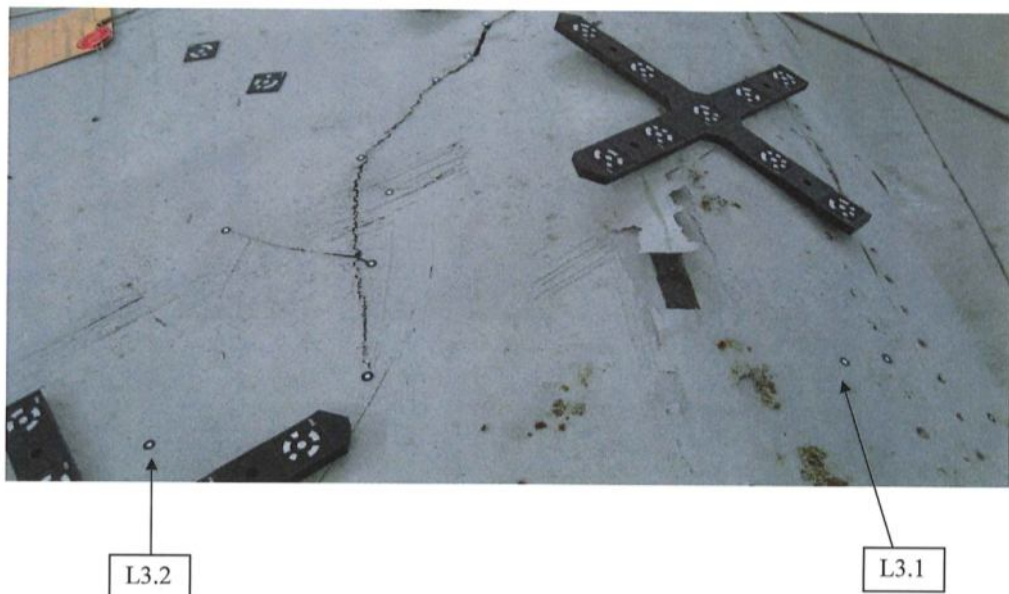
DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 8/12

Ligne 2



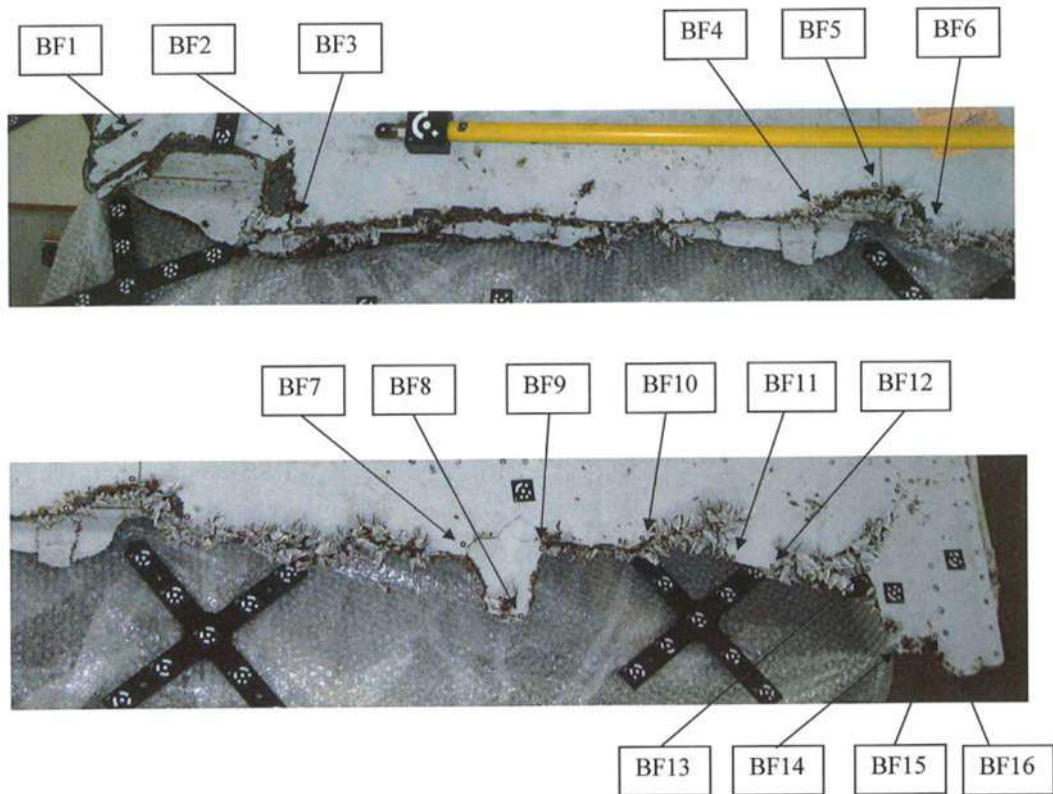
Ligne 3



DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 9/12

Bord de fuite



DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 10/12

7. COORDONNEES DES POINTS PAR ZONE

Bord de fuite			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
BF1	69.99	3.35	73.50
BF2	301.32	3.16	75.67
BF3	333.09	-96.82	37.11
BF4	987.25	-55.36	58.01
BF5	1060.72	-22.26	71.07
BF6	1124.55	-64.03	55.41
BF7	1449.22	-94.78	44.36
BF8	1513.70	-175.75	11.67
BF9	1547.38	-100.01	41.13
BF10	1678.99	-90.83	46.29
BF11	1798.89	-115.23	36.71
BF12	1851.89	-128.33	32.19
BF13	1989.27	-134.48	30.35
BF14	2006.88	-230.76	-2.90
BF15	2069.48	-221.57	-0.11
BF16	2096.61	-267.46	-16.65
Ligne 1			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
L1.1	-42.40	262.93	169.55
L1.2	-73.10	641.67	257.06
Ligne 2			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
L2.1	419.69	668.81	266.75
L2.2	454.89	291.07	180.06
Ligne 3			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
L3.1	1607.67	735.84	284.71
L3.2	1643.14	349.65	200.38
Ligne de rivet			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
R1	2173.82	802.45	283.68
R2	1940.27	789.78	281.37
R3	1824.94	782.51	280.50
R4	1596.02	770.48	278.69
R5	1137.40	746.32	273.86
R6	620.92	719.57	264.69
R7	162.43	697.01	254.03
Zone 1			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
Z1.1	2219.55	823.97	192.07
Z1.2	2223.81	838.58	100.74
Z1.3	2229.67	846.86	29.25

DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 11/12

Zone 2			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
Z2.1	1678.12	876.81	236.38
Z2.2	1617.71	845.67	257.83
Z2.3	1658.94	903.00	217.37
Z2.4	1604.02	929.50	177.98
Z2.5	1768.71	854.95	255.72
Z2.6	1803.34	949.56	160.47
Zone 3			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
Z3.1	1325.06	852.25	243.40
Z3.2	1327.64	922.76	161.37
Z3.3	988.98	821.88	244.71
Z3.4	977.53	900.06	167.20
Zone 4			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
Z4.1	459.73	801.53	231.44
Z4.2	471.20	833.80	210.73
Z4.3	473.23	866.32	171.16
Zone 5			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
Z5.1	-43.82	753.18	168.33
Z5.2	-26.61	783.18	120.58
Z5.3	-44.42	768.60	110.97
Zone 6			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
Z6.1	1108.97	591.98	275.88
Z6.2	1143.02	591.97	275.99
Z6.3	1228.79	537.48	260.75
Z6.4	1277.96	522.82	256.14
Z6.5	1307.07	498.48	248.14
Z6.6	1399.07	448.30	232.31
Z6.7	1438.49	469.87	235.10
Z6.8	1513.95	462.08	236.01
Z6.9	1462.68	363.55	205.25
Z6.10	1609.43	465.05	237.05
Zone 7			
Point	coord-x	coord-y	coord-z
Z7.1	1043.68	687.53	280.37
Z7.2	1054.23	630.79	281.71
Z7.3	1079.24	639.92	282.62
Z7.4	1069.06	597.40	276.82

Toutes les valeurs sont en mm

DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-45-2015, page 12/12

8. ANALYSE DES POINTS POSITIONNES SUR LES RIVETS

Une droite a été tracée entre les points R1 et R7.

Le tableau ci-dessous donne la différence de coordonnée Z entre le point et sa projection sur la droite. Les points sont au-dessus de la droite dans la direction de l'axe Z

Points	Distance à la ligne
R2	1.127
R3	1.964
R4	3.527
R5	5.455
R6	3.898

La différence de coordonnée suivant l'axe Y n'est pas significative dans le mesure ou les pastilles ont été placées approximativement au centre du rivet. Elle est de l'ordre de 1.5 mm avec peu d'écart entre les points.

9. ANALYSE DES POINTS DE LA ZONE 1

Une droite a été tracée entre les points Z1.1 et Z1.3.

La différence de coordonnée Y entre le point Z1.2 et sa projection sur la droite est : 1.75 mm. Le point se situe à droite suivant l'axe Y par rapport à la droite

La distance entre les points Z1.1 et Z1.3 est : 164.7 mm

DIFFUSION RESTREINTE

Annexe 7 : Report DGA TH E11374 part 1 - Compte rendu d'tests

DIFFUSION RESTREINTE



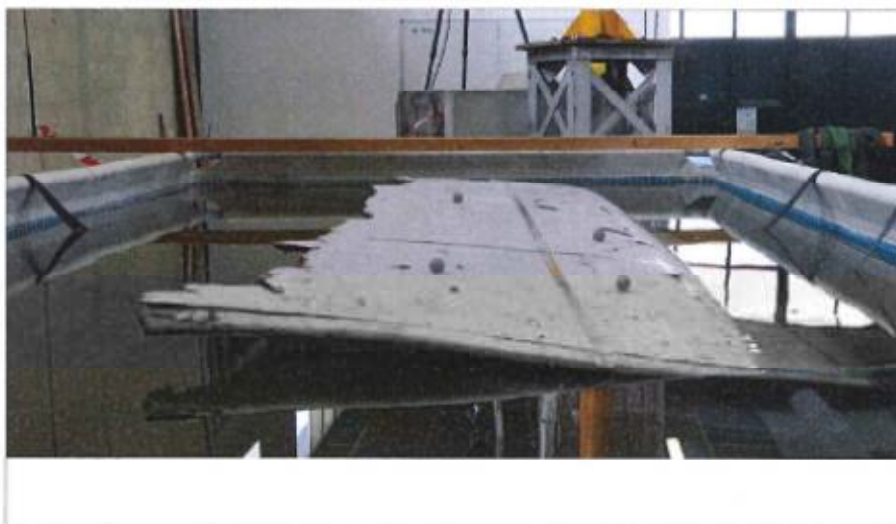
MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



DIRECTION GÉNÉRALE
DE L'ARMEMENT

DIRECTION TECHNIQUE

DGA Techniques hydrodynamiques



E 11374

ESSAI DE FLOTTABILITE POUR DGA TA

PIECE N° 1

COMPTE RENDU DES ESSAIS D'AOUT 2015

Enregistrement : N°15-501367 DT/DGA TH/SDT/UP_Perf du 14/09/2015

Réf. et date de commande : En attente de contractualisation avec le ministère de la Justice

Auteur : F. Legrand, P. Perdon

Manager d'affaires : F. Lorin

Validation : Sous-Directeur Technique

Classification : Diffusion restreinte

Déclassification : 30 ans à valider par l'officier de sécurité

Nb de pages du document : 13 pages

Direction Générale de l'Armement
DGA Techniques hydrodynamiques
Chaussée du Vexin - BP 510 - 27105 Val de Reuil Cedex
Téléphone : 33 (0) 2.32.59.78.00 - Télécopie : 33 (0)2.32.59.77.77
E-mail : dga.techniques-hydrodynamiques@dga.defense.gouv.fr

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Type de rapport

☐ Rapport final	☒ Rapport intermédiaire	☐ Rapport provisoire
--	---	---

Indice du rapport

Version	Date	Description des pages modifiées ET justification de la modification	Auteur
Initiale	04/08/2015	création du document	F. Legrand, P. Perdon

Diffusion

Diffusion externe :

Organisme	Nom du Destinataire	Nb	Livrables (CDROM,...)
DGA Techniques aéronautiques	C. Bordes	1	
DGA Techniques aéronautiques	C. Blayac	1	
Ministère de la Justice	M. le Juge en charge du dossier	1	

Diffusion interne :

DGA Techniques hydrodynamiques	Nom du Destinataire	Nb	Livrables (CDROM,...)
SDT UP Perf	F. Legrand	1	
SDT UP Perf	P. Perdon	1	
SDA	F. Lorin	1	

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Résumé

A la demande de DGA TA, et dans le cadre d'une expertise judiciaire, DGA TH a apporté son concours à la caractérisation hydrostatique de l'élément de flaperon trouvé en juillet 2015 à La Réunion. Une équipe de deux personnes de DGA TH s'est rendue à Balma du 24 au 28 août 2015, afin de procéder aux essais dit de flottabilité. Ce document rend compte de ces essais.

Il apparaît que l'élément de flaperon possède une réserve de flottabilité assez importante. Sa position d'équilibre, qui est sensiblement la même que l'intrados soit vers le haut ou vers le bas, est telle que le bord d'attaque est immergé alors que le bord de fuite est légèrement dégagé de la surface.

Type de clients :	DGA (code 1800)
Famille de navires :	Sans objet
Domaine :	Tenue à la mer
Moyen :	Autres
Programme :	
Mots clés :	

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Table des matières

<i>Résumé</i>	ii
<i>1 Objet du rapport</i>	1
<i>2 Moyens mis en œuvre</i>	1
2.1 Flapéron	1
2.2 Bassin	1
2.3 Mesures	1
<i>3 Programme d'essais</i>	3
<i>4 Résultats préliminaires</i>	3
4.1 Premières constatations	3
4.2 Résultats	4
4.3 Flottaison	5
<i>Références</i>	7
<i>Annexe 1 : Nomenclature</i>	8

Liste des figures

Figure 1 : Cuve d'essais	1
Figure 2 : Repère lié au flapéron (intrados vers le haut)	2
Figure 3 : Position des mires et des points de pose des masses (intrados vers le haut)	2
Figure 4 : Equilibre en surface, intrados vers le haut	3
Figure 5 : Equilibre en surface, extrados vers le haut	4
Figure 6 : intrados vers le haut	4
Figure 7 : Stabilité (transversale dans l'exemple)	5
Figure 8 : Intrados émergé	6
Figure 9 : Extrados émergé	6

Liste des tableaux

Tableau 1: Données hydrostatiques	5
-----------------------------------	---

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

1 Objet du rapport

A la demande de DGA TA, et dans le cadre d'une expertise judiciaire (Réf. [a]), DGA TH a apporté son concours à la caractérisation hydrostatique de l'élément de flaperon trouvé en juillet 2015 à La Réunion. Une équipe de deux personnes de DGA TH s'est rendue à Balma du 24 au 28 août 2015, afin de procéder aux essais dit de flottabilité. Ce document rend compte de ces essais et donne quelques éléments qualitatifs et quantitatifs. A l'issue du dépouillement complet des mesures et de leur analyse, un rapport final sera édité.

2 Moyens mis en œuvre

2.1 Flaperon

L'élément de flaperon étudié a pour dimensions principales :

- Envergure moyenne = 2200 mm
- Corde moyenne = 1120 mm
- Epaisseur max = 300 mm

Sa masse en air, mesurée par DGA TA est de 39.7 kg.

2.2 Bassin

Les mesures ont été effectuées dans une piscine hors sol installée dans les locaux de DGA/TA. Ses dimensions sont 2.5x5.2 m. Lors des essais, la profondeur d'eau était d'environ 1.1 m.

La piscine était remplie d'eau salée. La température était de 20° C, la densité mesurée par DGA TH de 1023,5 kg m⁻³, ce qui est légèrement en deçà de la densité généralement considérée pour les mers ouvertes qui se situe autour de 1025-1026 kg m⁻³.



Figure 1 : Cuve d'essais

2.3 Mesures

Les mesures d'assiette et d'enfoncement ont été réalisées par DGA TH à l'aide d'un système de trajectographie optique Qualisys®. Pour cet essai, le système se composait de trois caméras situées sur les bords de la cuve (visibles sur la Figure 1). Quatre sphères réfléchissantes fixées sur la partie émergée du flaperon définissaient le repère lié.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Le repère lié au flaperon est présenté sur la Figure 2. L'axe Ox est parallèle à la ligne de vis qui court selon l'envergure du flaperon près de son bord de fuite. L'axe Oy est orienté vers le bord d'attaque parallèlement à la direction de la corde. L'axe Oz complète le trièdre direct. Par analogie avec les navires de surface on appellera gîte (roulis) et assiette (tangage) les déplacements angulaires autour d'axes respectivement parallèles à l'axe Ox et à l'axe Oy.

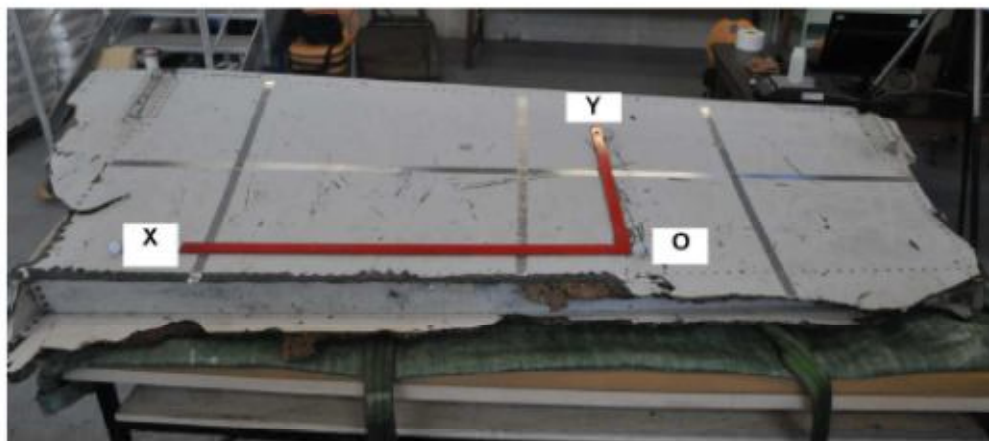


Figure 2 : Repère lié au flaperon (intrados vers le haut)

La mise en assiette et en gîte du flaperon a été réalisée en appliquant différentes masses en 5 points de la surface émergée du flaperon notés A, B, C, D et E et représentées sur la Figure 3. Les différentes valeurs de masse ont été obtenues par la combinaison de trois masses de 1 kg vérifiées par une balance de précision ± 0.1 gramme.

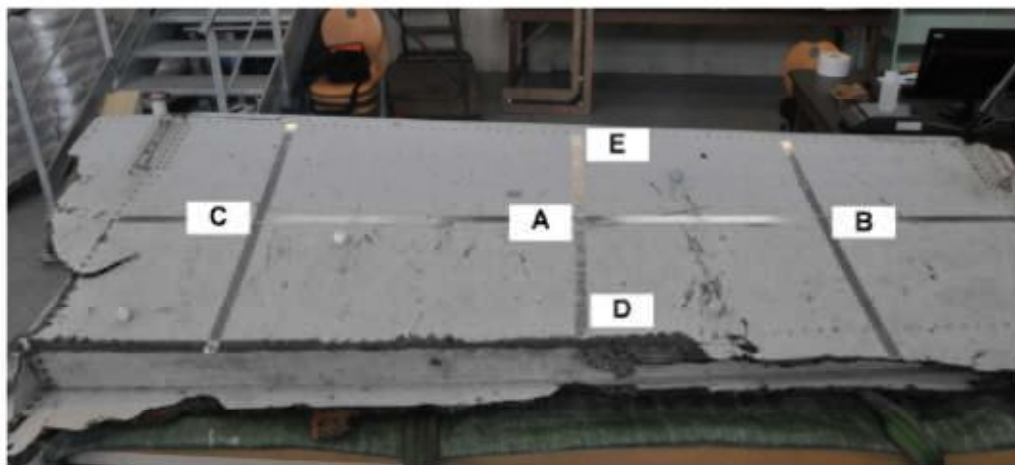


Figure 3 : Position des mires et des points de pose des masses (intrados vers le haut)

Une fois le flaperon stabilisé, l'acquisition d'une position se faisait sur une durée de 20 secondes à la fréquence d'acquisition de 20 Hz. Les valeurs des positions exploitées étant obtenues sur la moyenne des positions acquises.

Il a également été procédé à l'acquisition de la position d'une sphère placée sur un flotteur de façon à repérer la position de la surface libre dans le référentiel fixe défini par les caméras.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

3 Programme d'essais

Le programme d'essais a consisté à évaluer la flottabilité de l'engin pour deux situations : intrados vers le haut et extrados vers le haut.

Dans la situation intrados vers le haut une tentative a été faite de reprendre les mesures décrites ci-avant en ayant obturé à l'adhésif les trous imputables à la corrosion. Cette mesure avait pour objectif de vérifier si l'attitude du flaperon en surface avait pu varier sensiblement à mesure que la corrosion le dégradait. Il a très vite été constaté que l'obturation des trous ralentissait le remplissage du flaperon mais ne modifiait pas la position finale d'équilibre. Il n'a donc pas été procédé à des mesures pour cette configuration qui ne diffèrait finalement pas de celle déjà étudiée.

4 Résultats préliminaires

4.1 Premières constatations

Avant de procéder aux premières mesures, le flaperon a été déposé dans la piscine, intrados vers le haut, afin d'avoir une première idée de son attitude au repos. Posé doucement sur la surface, le flaperon flotte relativement haut sur l'eau et se remplit lentement. Il met approximativement 20 minutes à atteindre sa position d'équilibre.

Intrados vers le haut le flaperon flotte avec le bord de fuite dégagé de la surface et le bord d'attaque sous la surface (Figure 4). Dans sa grande direction, la ligne de flottaison est sensiblement parallèle à l'envergure.



Figure 4 : Equilibre en surface, intrados vers le haut

Posé avec l'extrados vers le haut, le flaperon se stabilise dans une position relativement comparable (Figure 5).

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques



Figure 5 : Equilibre en surface, extrados vers le haut

La réserve de flottabilité est importante puisque pas moins de 41 kg de lest supplémentaires ont été nécessaires pour l'immerger totalement. En pratique la réserve de flottabilité est légèrement inférieure à $41/1023.5 = 0.040 \text{ m}^3$ puisqu'une partie des lests utilisés se trouvait immergée (Figure 6).



Figure 6 : Immersion complète, intrados vers le haut

4.2 Résultats

Par analogie avec les études de stabilité des bâtiments de surface et bien que l'objet étudié ne présente pas de plan de symétrie, on caractérise la stabilité du flaperon par les valeurs de hauteur métacentrique longitudinale et transversale GM_L et GM_T correspondant à des inclinaisons en assiette et gîte (Figure 7).

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

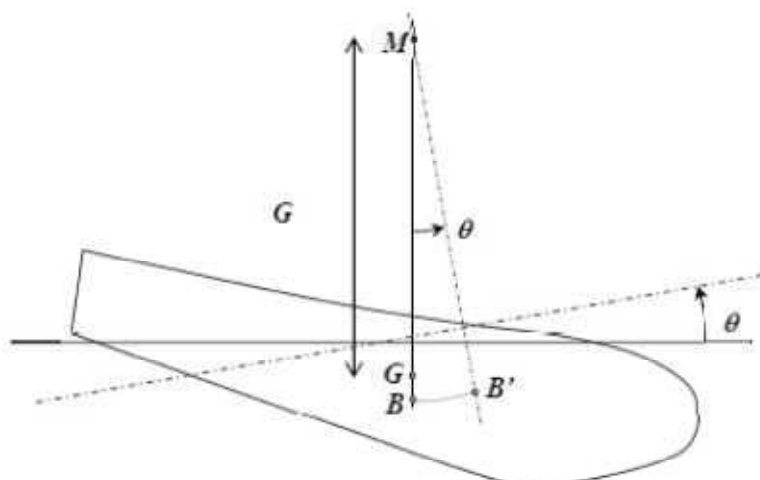
DGA Techniques
hydrodynamiques

Figure 7 : Stabilité (transversale dans l'exemple)

La raideur en enfoncement est caractérisée par l'enfoncement sans inclinaison par unité d'effort vertical appliqué dZ/dF_z . Cette raideur peut également se traduire sous forme d'une surface de flottaison effective $A_W = \frac{dF_z}{\rho dZ}$. Le point d'application d'un effort vertical, ne provoquant pas d'inclinaison, se situe sur la verticale passant par le centre F de cette surface de flottaison effective.

Le Tableau 1 synthétise les résultats obtenus lors des mesures effectuées sur le flaperon.

	Inclinaison longitudinale	Inclinaison transversale	Raideur en enfoncement	
	GM_L (m)	GM_T (m)	dZ/dF_z (mm/N)	Flottaison effective A_W (m ²)
Intrados émergé	2.01	0.50	0.76	0.131
Extrados émergé	2.22	0.21	0.56	0.178

Tableau 1: Données hydrostatiques

4.3 Flottaison

Les essais réalisés ont montré qu'en l'état, la flottabilité du flaperon était relativement importante et que la ligne de flottaison ne correspondait pas à sa position suggérée par les zones d'implantation des crustacés.

Afin d'évaluer les conditions dans lesquelles cette flottaison était réalisée, le flaperon a été lesté pour faire coïncider la flottaison effective avec celle délimitée par la présence des crustacés.

Dans le cas intrados vers le haut, il a été nécessaire d'ajouter 13.5 kg sur le long du bord de fuite (Figure 8). Dans le cas où l'extrados est placé vers le haut, seuls 5 kg ont été nécessaires (Figure 9).

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques



Figure 8 : Intrados émergé



Figure 9 : Extrados émergé

DIFFUSION RESTREINTE

**AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1**

DIFFUSION RESTREINTE

**DGA Techniques
hydrodynamiques**

Références

- [a] Lettre de Monsieur François Granger du 03/08/2015 définissant les analyses à mener.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°1

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Annexe 1 : Nomenclature

A_W	Surface de flottaison	m^2
B	Centre de carène (volume immergé)	
F	Centre de flottaison	
G	Centre de gravité	
GM_L	Hauteur métacentrique longitudinale	m
GM_T	Hauteur métacentrique transversale	m
g	Accélération de la pesanteur	$m\ s^{-2}$
m	Masse	kg
ρ	Densité de l'eau	$kg\ m^{-3}$
V	Déplacement (volume)	m^3

DIFFUSION RESTREINTE

Annexe 8 : Report DGA TH E11374 part 2 – Characteristics Hydrostatiques of the Flaperon

DIFFUSION RESTREINTE



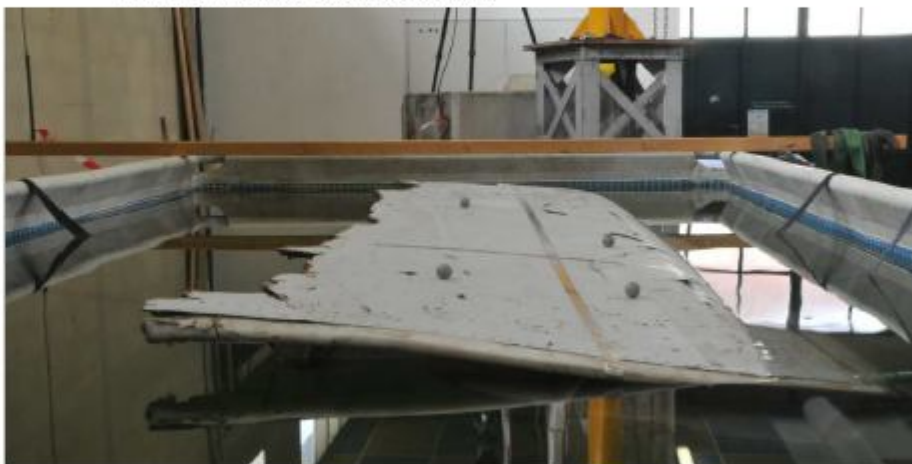
MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



DIRECTION GÉNÉRALE
DE L'ARMEMENT

DIRECTION TECHNIQUE

DGA Techniques hydrodynamiques



E 11374
ESSAI DE FLOTTABILITE POUR DGA TA

PIECE N° 2
HYDROSTATIQUE

Enregistrement : N°15-501592 DT/DGA TH/SDT/UP_PERF du 23/10/2015

Réf. et date de commande : En attente de contractualisation avec le TGI de Paris

Auteurs : F. Legrand, P. Perdon
Manager d'affaires : F. Lorin
Validation : Sous-Directeur Technique

Classification : Diffusion restreinte
Déclassification : 30 ans à valider par l'officier de sécurité
Nb de pages du document : 37 pages

Direction Générale de l'Armement
DGA Techniques hydrodynamiques
Chaussée du Vexin - BP 510 - 27105 Val de Reuil Cedex
Téléphone : 33 (0) 2.32.59.78.00 - Télécopie : 33 (0)2.32.59.77.77
E-mail : dga.techniques-hydrodynamiques@dga.defense.gouv.fr

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Type de rapport

☒ Rapport final	☐ Rapport intermédiaire	☐ Rapport provisoire
---	--	---

Indice du rapport

Version	Date	Description des pages modifiées ET justification de la modification	Auteurs
Initiale	30/09/2015	création du document	F. Legrand, P. Perdon

Diffusion

Diffusion externe :

Organisme	Nom du Destinataire	Nb	Livrables (CDROM,...)
DGA Techniques aéronautiques	C. Bordes	1	
DGA Techniques aéronautiques	C. Blayac	1	
TGI de Paris (Section anti-terroristes)	M. le Juge A. Gaudino	1	

Diffusion interne :

DGA Techniques hydrodynamiques	Nom du Destinataire	Nb	Livrables (CDROM,...)
SDT UP Perf	F. Legrand	1	
SDT UP Perf	P. Perdon	1	
SDA	F. Lorin	1	

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Résumé

Par l'intermédiaire de DGA Techniques aéronautiques, et dans le cadre d'une expertise judiciaire menée à la demande du Tribunal de grande instance de Paris, DGA Techniques hydrodynamiques a apporté son concours à la caractérisation de l'élément de flaperon trouvé en juillet 2015 à La Réunion. Une équipe de deux personnes de DGA Techniques hydrodynamiques s'est rendue à Balma du 24 au 28 août 2015 afin de procéder aux essais dit de flottabilité. Un premier rapport rend compte de ces essais. Le présent rapport détaille les mesures faites et en exploite plus avant les résultats.

Ces essais montrent que l'élément de flaperon possède une flottabilité assez importante en l'état. Pour une masse à sec de 39.7 kg, 37 kg de lests supplémentaires sont nécessaires pour l'immerger totalement. Sa position d'équilibre qui est sensiblement la même que l'intrados soit vers le haut ou vers le bas, est telle que le bord d'attaque est immergé alors que le bord de fuite est légèrement dégagé de la surface.

Pour ces deux attitudes, ce rapport fournit les caractéristiques hydrostatiques et l'estimation de grandeurs géométriques définissant les parties immergées et émergées.

Type de clients :	DGA (code 1800)
Famille de navires :	Sans objet
Domaine :	Tenue à la mer
Moyen :	Autres
Programme :	
Mots clés :	

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Table des matières

<i>Résumé</i>	<i>ii</i>
<i>1 Objet du rapport</i>	<i>1</i>
<i>2 Essais</i>	<i>1</i>
2.1 Flaperon	1
2.2 Conditions des mesures	1
2.3 Repères	1
<i>3 Comportement</i>	<i>3</i>
3.1 Reprise d'eau	3
3.1.1 Cas intrados émergé	3
3.1.2 Cas extrados émergé	5
3.2 Immersion complète	7
3.3 Sur-enfoncement	8
<i>4 Caractéristiques hydrostatiques</i>	<i>9</i>
4.1 Définitions	9
4.2 Analyse des mesures	10
4.3 Résultats	12
4.3.1 Surfaces projetées	12
4.3.2 Synthèse	13
<i>5 Conclusions</i>	<i>13</i>
<i>Références</i>	<i>14</i>
<i>Annexe 1 : Nomenclature</i>	<i>15</i>
<i>Annexe 2 : Mesures hydrostatiques du 26/08/2015 - flaperon intrados émergé</i>	<i>16</i>
<i>Annexe 3 : Mesures hydrostatiques du 27/08/2015 - flaperon extrados émergé</i>	<i>18</i>
<i>Annexe 4 : Détermination des hauteurs métacentriques</i>	<i>20</i>
<i>Annexe 5 : Représentation CAO de la flottaison intrados émergé</i>	<i>23</i>
<i>Annexe 6 : Représentation CAO de la flottaison extrados émergé</i>	<i>28</i>

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Liste des figures

Figure 1 : Repère lié au flaperon (intrados vers le haut).....	2
Figure 2 : Position des mires et des points de pose des masses (intrados vers le haut).....	3
Figure 3 : Equilibre en surface, intrados émergé.....	4
Figure 4 : Flaperon intrados émergé – Prise d’immersion après 3 heures dans l’eau.....	4
Figure 5 : Flaperon intrados émergé – Prise d’assiette après 3 heures dans l’eau.....	5
Figure 6 : Flaperon intrados émergé – Prise de gîte après 3 heures dans l’eau.....	5
Figure 7 : Equilibre en surface, extrados vers le haut.....	6
Figure 8 : Extrados émergé – Prise d’immersion après 1 heure 30 dans l’eau.....	6
Figure 9 : Extrados émergé – Prise d’assiette après 1 heure 30 dans l’eau.....	7
Figure 10 : Extrados émergé – Prise de gîte après 1 heure 30 dans l’eau.....	7
Figure 11 : Immersion complète, intrados vers le haut.....	8
Figure 12 : Bord de fuite affleurant - intrados émergé.....	8
Figure 13 : Bord de fuite affleurant - extrados émergé.....	9
Figure 14 : Vue du volume fermé.....	9
Figure 15 : Stabilité (transversale dans l’exemple).....	10
Figure 16 : Intrados immergé.....	11
Figure 17 : Extrados immergé.....	11
Figure 18 : Surfaces projetées - Intrados émergé.....	12
Figure 19 : Surface projetées - Extrados émergé.....	12

Liste des tableaux

Tableau 1: Positions des marqueurs et des masses additionnelles.....	3
Tableau 2: Chargements pour amener le bord de fuite affleurant.....	8
Tableau 3: Données hydrostatiques.....	13

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

1 Objet du rapport

Par l'intermédiaire de DGA Techniques aéronautiques, et dans le cadre d'une expertise judiciaire menée à la demande du Tribunal de grande instance de Paris (Réf. [a]), DGA Techniques hydrodynamiques a apporté son concours à la caractérisation de l'élément de flaperon trouvé en juillet 2015 à La Réunion. Une équipe de deux personnes de DGA Techniques hydrodynamiques s'est rendue à Balma du 24 au 28 août 2015 afin de procéder aux essais dit de flottabilité. Un premier rapport (réf. [b]) rend compte de ces essais. Le présent rapport détaille les mesures faites et en exploite plus avant les résultats.

2 Essais

2.1 Flaperon

L'élément de flaperon étudié a pour dimensions principales :

- Envergure moyenne = 2200 mm
- Corde moyenne = 1120 mm
- Epaisseur max = 300 mm

Sa masse, mesurée par DGA TA est de 39.7 kg.

2.2 Conditions des mesures

Les mesures ont été effectuées dans une piscine hors sol installée dans les locaux de DGA TA. Ses dimensions sont 2.5x5.2 m. Lors des essais, la profondeur d'eau était d'environ 1.1 m.

La piscine était remplie d'eau salée dont la température était de 20° C, la densité mesurée par DGA TH de 1023,5 kg/m³.

Cette densité est inférieure à celle généralement admise pour l'eau des mers ouvertes qui se situe autour de 1025-1026 kg/m³. Ce faible écart est sans incidence notable sur les résultats des mesures puisqu'il correspondrait à une différence d'enfoncement inférieure à 1 mm.

2.3 Repères

Sur la base de relevés photogramétriques, DGA TA a établi un fichier CAO du flaperon référencé Flaperon1.igs. Par commodité, le repère de ce fichier CAO dont l'axe des x est sensiblement parallèle au bord de fuite mais dont l'origine ne correspond à aucun point remarquable du flaperon sera utilisé pour localiser différents points sur l'objet. La Figure 1 donne des vues de la modélisation CAO sur lesquelles ce repère est figuré par des flèches de couleur.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

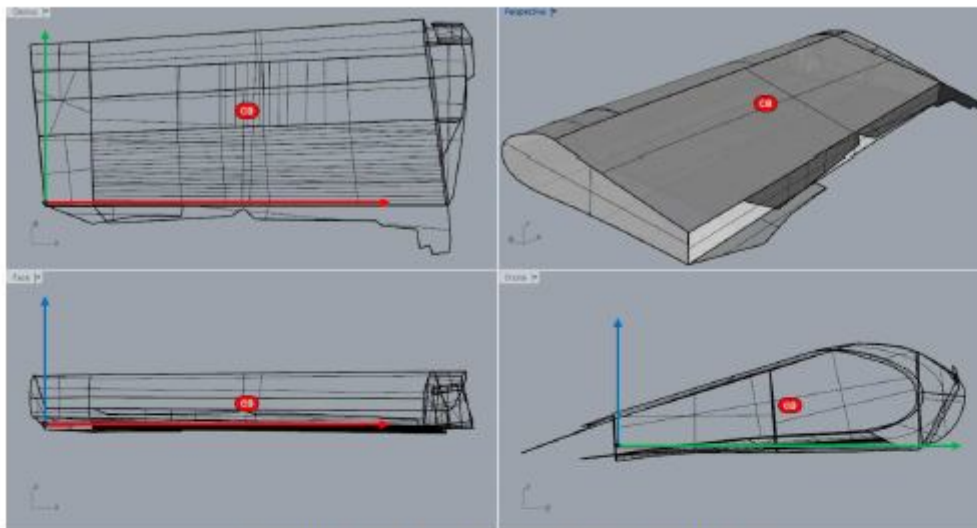
DGA Techniques
hydrodynamiques

Figure 1 : Repère lié au flaperon (intrados vers le haut)

Les mesures d'assiette et d'enfoncement ont été réalisées par un système optique Qualisys® composé de trois caméras visant des sphères réfléchissantes fixées sur la partie émergée du flaperon (sphères notées « O », « X » et « Y » sur la photographie de la Figure 2). Pour les besoins des mesures, une 4^{ème} boule Qualisys a été installée sur la face émergée du flaperon. Cette 4^{ème} boule ne sert que dans le cas où une des trois autres boules serait masquée par l'environnement de la piscine pour certaines attitudes.

La mise en assiette et en gîte du flaperon a été réalisée en appliquant différentes masses en 5 points de sa surface émergée, notés A, B, C, D et E et représentées sur la Figure 2.

Les différentes valeurs de masse ont été obtenues par la combinaison de trois masses de 1 kg vérifiées par une balance de précision ± 0.1 gramme.

Pour prendre en compte les éventuelles variations du niveau de l'eau de la piscine, une 5^{ème} boule a été installée sur un flotteur en mousse de 40 mm d'épaisseur. Ce flotteur chargé de cette boule présente un tirant d'eau proche de 1 mm, ce qui place le centre de la boule à une hauteur de 51.7 mm au dessus du niveau de l'eau.

Les mesures de hauteur (z), sont comptées entre le pied de la boule « Origine » (placée en O) et la surface libre. Les inclinaisons en gîte et en assiette correspondent à des déplacements angulaires autour d'axes respectivement parallèles à OX et OY.

Par convention, il a été retenu que les angles d'assiette et de gîte sont nuls quand le plan défini par les centres des boules « O », « X » et « Y » est horizontal.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

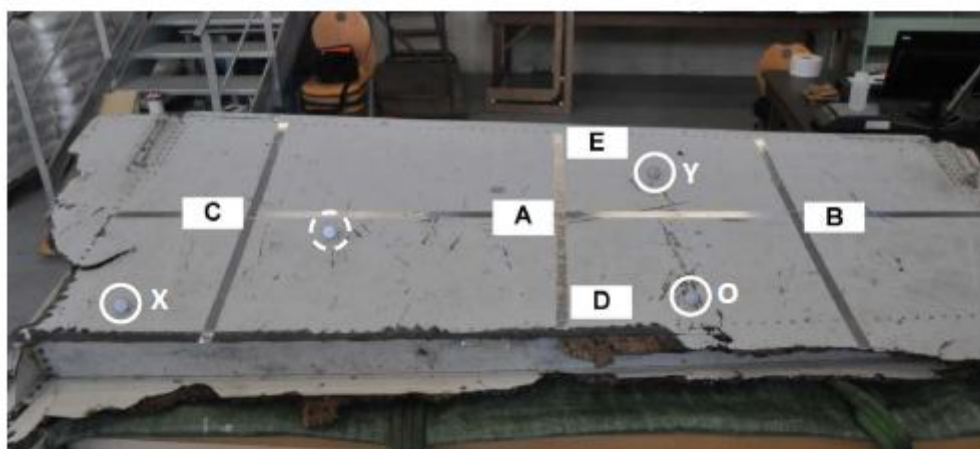
DGA Techniques
hydrodynamiques

Figure 2 : Position des mires et des points de pose des masses (intrados vers le haut)

Le Tableau 1 regroupe les coordonnées des positions des boules et des masses additionnelles, exprimées dans le repère du fichier IGES fourni par DGA TA.

	Nom	Intrados émergé		Extrados émergé	
		x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
Boules Qualisys	O	782.0	69.0	1754.0	179.5
	X	1935.0	75.0	660.0	174.5
	Y	779.5	544.3	1752.3	528.1
Points d'implantation des masses	A	1031.4	416.9	1385.6	373.1
	B	477.7	397.6	2102.9	434.0
	C	1751	442.0	668.4	312.2
	D	1041.9	117.1	1411.8	83.2
	E	1020.9	716.7	1365.2	600.2

Tableau 1: Positions des marqueurs et des masses additionnelles

3 Comportement

3.1 Reprise d'eau

Pour chacune des attitudes, les mesures se sont déroulées sur une certaine durée, ce qui a permis de constater des variations d'enfoncement et d'attitude entre les premières mesures réalisées sans masse additionnelles et celles réalisées en fin de séance dans les mêmes conditions.

3.1.1 Cas intrados émergé

Dans le cas intrados émergé, après avoir passé trois heures dans l'eau, le flaperon n'a quasiment pas changé d'angle d'assiette et de gîte au cours du temps (Figure 5 et Figure 6). Par contre, il s'est légèrement enfoncé de 2.2 mm (Figure 4), ce qui correspond à un alourdissement d'environ 0.3 kg dont la résultante est voisine du centre de flottaison puisque les angles d'inclinaison ont peu varié.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques



Figure 3 : Equilibre en surface, intrados émergé

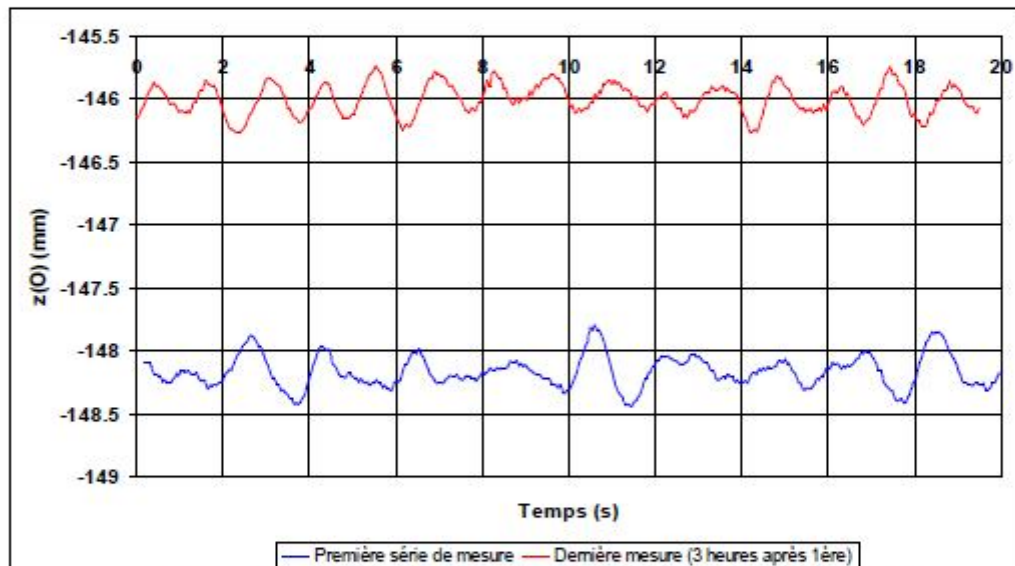


Figure 4 : Flaperon intrados émergé – Prise d'immersion après 3 heures dans l'eau

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

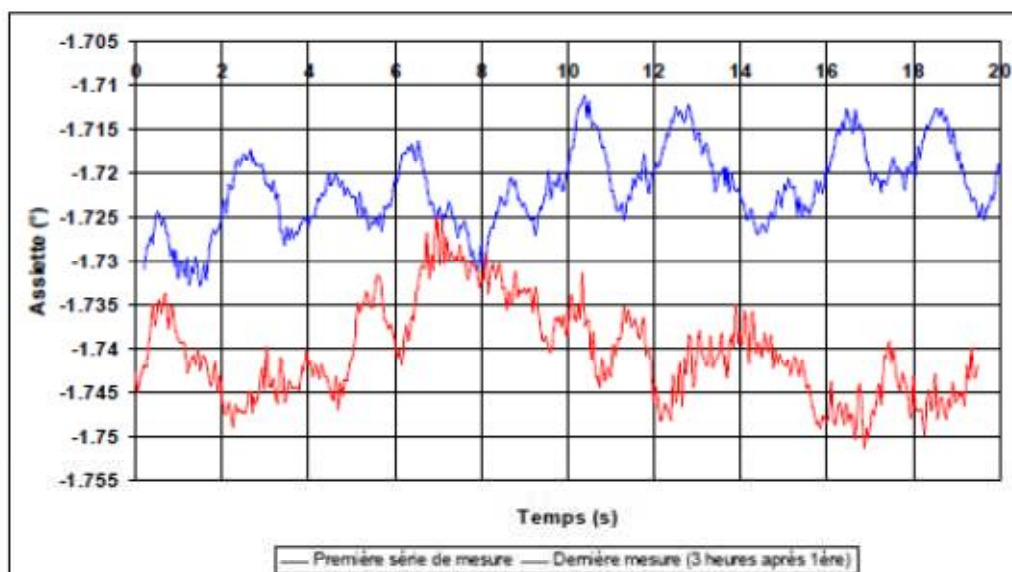


Figure 5 : Flaperon intrados émergé – Prise d'assiette après 3 heures dans l'eau

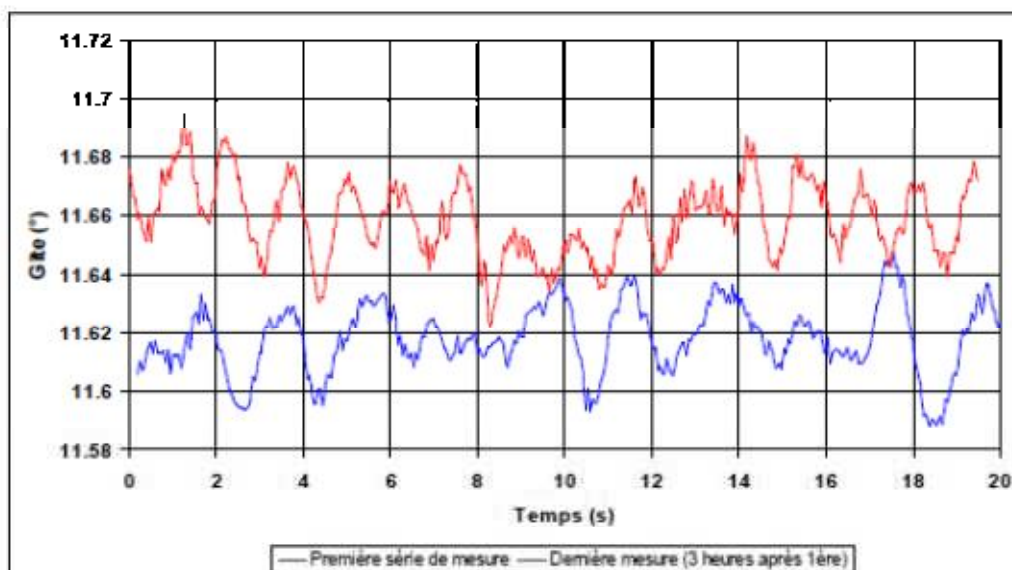


Figure 6 : Flaperon intrados émergé – Prise de gîte après 3 heures dans l'eau

3.1.2 Cas extrados émergé

Posé avec l'extrados vers le haut, le flaperon se stabilise dans une position relativement comparable (Figure 7) à celle de la position intrados émergé.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

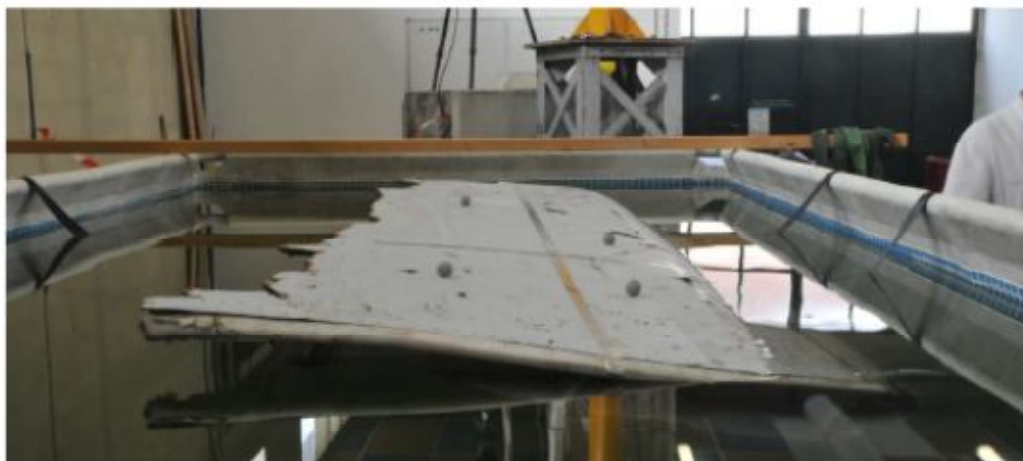
DGA Techniques
hydrodynamiques

Figure 7 : Equilibre en surface, extrados vers le haut

Au bout d'une heure trente dans l'eau, le flaperon a pris 0.25° d'assiette, perdu 0.3° de gîte et s'est enfoncée de 3.5 mm au niveau de la boule origine. Cet enfoncement correspond sensiblement à un alourdissement de 0.2 kg dont la résultante se situerait entre la boule « Origine » et le point B de mise en place des masses.

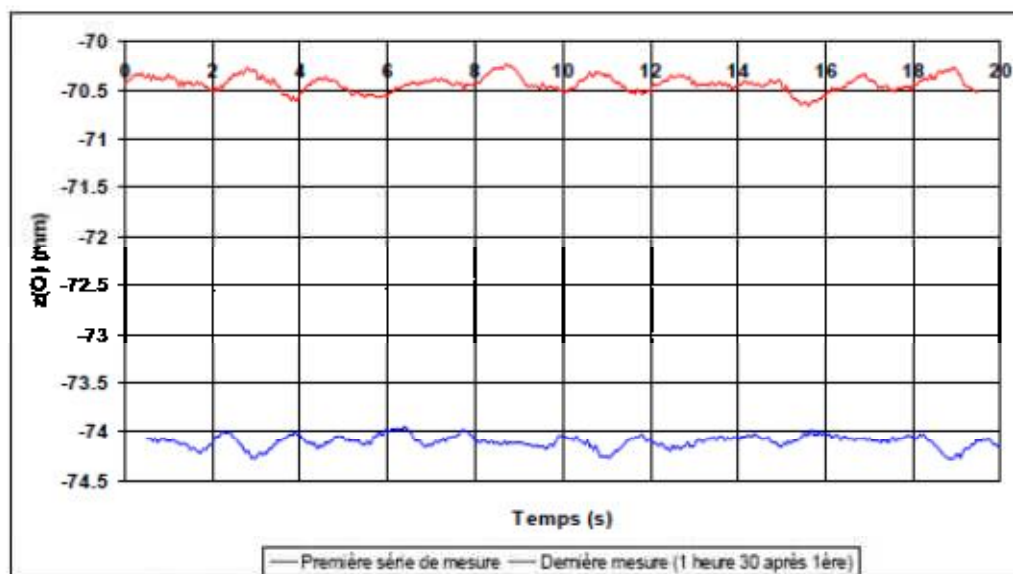


Figure 8 : Extrados émergé – Prise d'immersion après 1 heure 30 dans l'eau

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

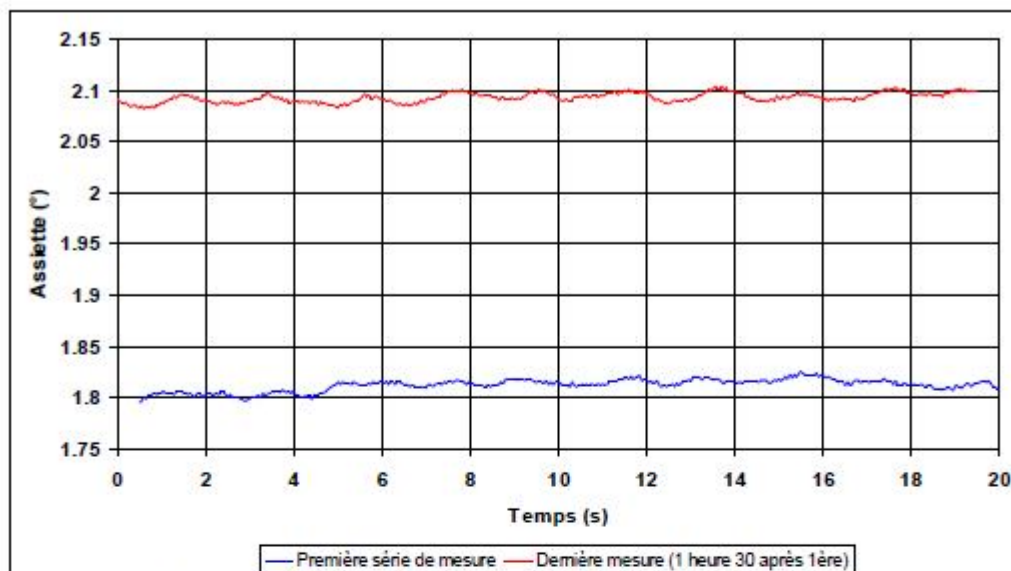


Figure 9 : Extrados émergé – Prise d'assiette après 1 heure 30 dans l'eau

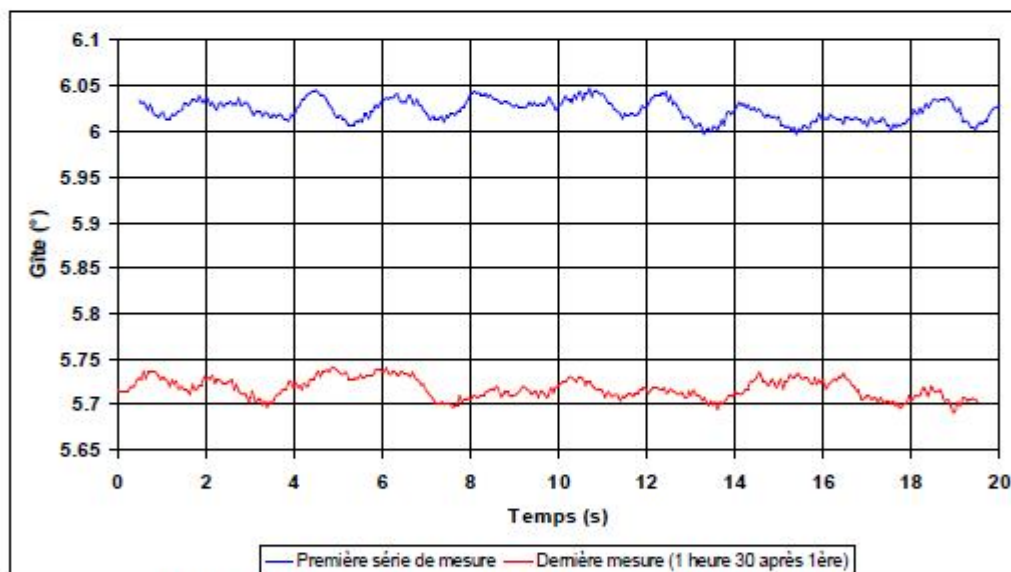


Figure 10 : Extrados émergé – Prise de gîte après 1 heure 30 dans l'eau

3.2 Immersion complète

La réserve de flottabilité du flaperon est importante puisque 41 kg de lests supplémentaires ont été nécessaires pour l'immerger totalement. En pratique la réserve de flottabilité est légèrement inférieure à $41/1023.5 = 0.040 \text{ m}^3$ puisqu'une partie des lests utilisés se trouvait immergée (Figure 11) lors de cette expérience. En corrigeant de la poussée hydrostatique sur

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

les parties immergées des lests, on déduit que la masse effective pour immerger totalement le flaperon est plus proche de 37 kg.



Figure 11 : Immersion complète, intrados vers le haut

3.3 Sur-enfoncement

Des expériences consistant à lester le flaperon de manière à faire affleurer le bord de fuite à la surface libre, et donc la zone d'implantation des crustacés, ont également été réalisées. Ces expériences menées respectivement pour les configurations intrados émergé et extrados émergé sont illustrées par les Figure 12 et Figure 13.



Figure 12 : Bord de fuite affleurant - intrados émergé

La position des masses utilisées à cette fin a été mesurée à l'aide du système Qualisys® en posant sur le centre de chacune une boule de mesure. Les valeurs obtenues, exprimées dans le repère du fichier CAO, sont résumées dans le Tableau 2.

Configuration flaperon	Masse (kg)	x (mm)	y (mm)
Intrados émergé (Figure 12)	10.0	633	59
	2.0	1544	39
	1.5	77	29
Extrados émergé (Figure 13)	2.5	760	65
	2.5	152	43

Tableau 2: Chargements pour amener le bord de fuite affleurant

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques



Figure 13 : Bord de fuite affleurant - extrados émergé

4 Caractéristiques hydrostatiques

4.1 Définitions

L'annexe 1 résume la nomenclature utilisée pour définir les caractéristiques hydrostatiques. A partir du fichier CAO transmis par DGA TA, un nouveau fichier a été défini dans lequel des surfaces ont été construites de manière à délimiter un volume fermé excluant les éléments de peau endommagés que l'on voit au niveau du bord de fuite et sur les côtés. La Figure 14 illustre ce volume. On peut, sur cette base, estimer un déplacement V_f , appelé « de forme », et qui correspond au volume immergé délimité par l'enveloppe extérieure : ce qui reviendrait à admettre que toute l'eau emprisonnée dans le flaperon est figée et entraînée dans ses mouvements.

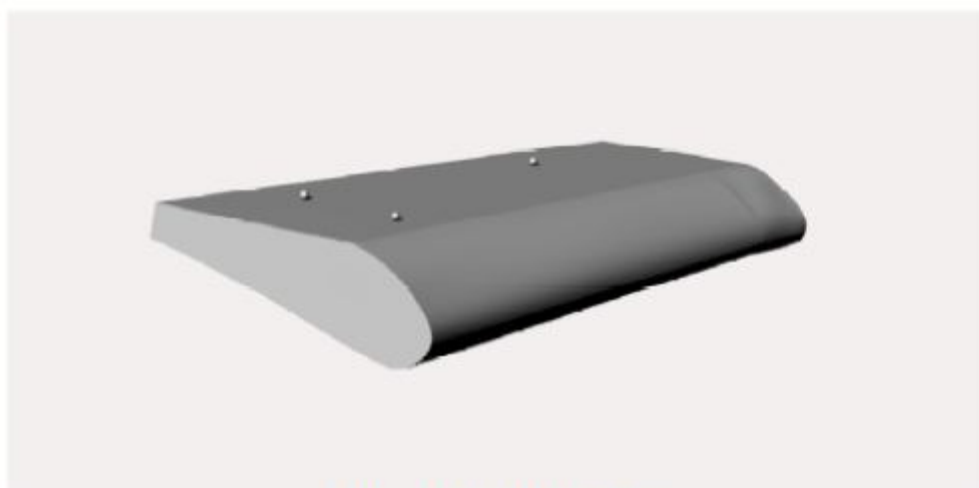


Figure 14 : Vue du volume fermé

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Sur la base des relevés réalisés et en utilisant les éléments de CAO, on estime les grandeurs suivantes pour les deux situations d'équilibre :

- Le déplacement de forme V_f ,
- Le tirant d'eau maximal,
- Le tirant d'air maximal,
- La surface projetée des œuvres mortes (exposées au vent) dans 2 directions,
- La surface projetée des œuvres vives (exposées à l'eau) dans 2 directions.

On appellera frontale la projection sur un plan perpendiculaire à la direction x et latérale la projection sur un plan perpendiculaire à y . Les valeurs de tirant d'air, tirant d'eau et surface projetées sont basées sur la CAO complète et incluent la contribution des éléments de peau abîmés.

Par analogie avec les études de stabilité des bâtiments de surface et bien que l'objet étudié ne présente pas de plan de symétrie, on caractérise la stabilité du flaperon par les valeurs de hauteurs métacentriques longitudinale et transversale GM_L et GM_T correspondant à des inclinaisons en assiette et gîte (Figure 15).

La raideur en enfoncement est caractérisée par l'enfoncement sans inclinaison par unité d'effort vertical appliqué dZ/dF_z . Cette raideur peut également se traduire sous forme d'une surface de flottaison effective $A_W = \frac{dF_z}{\rho dz}$. Le point d'application d'un effort vertical, ne provoquant pas d'inclinaison, se situe sur la verticale passant par le centre F de cette surface de flottaison effective.

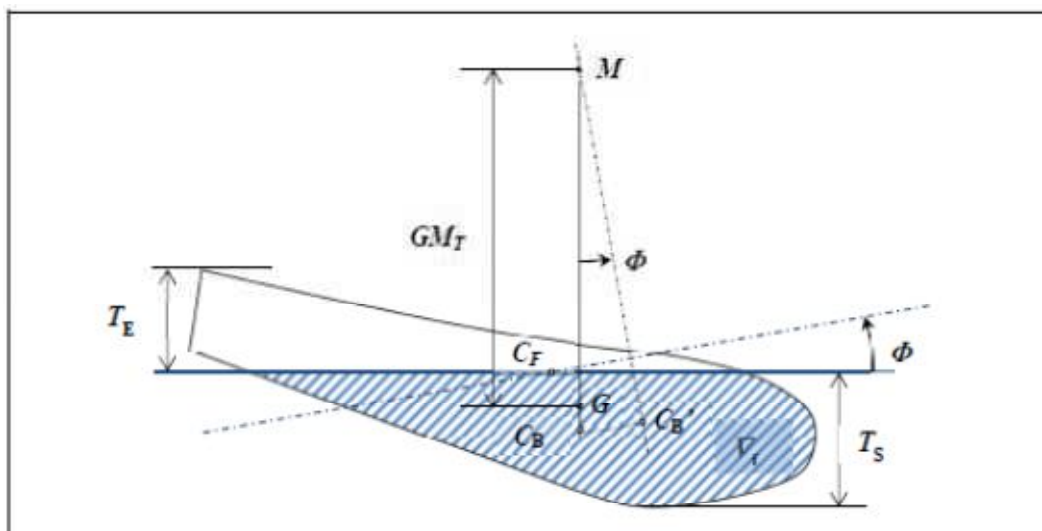


Figure 15 : Stabilité (transversale dans l'exemple)

4.2 Analyse des mesures

Les annexes 2 et 3 restituent les résultats des mesures dans les positions intrados émergé et intrados immergé.

L'annexe 4 détaille la méthode de détermination des hauteurs métacentriques longitudinale et transversale dans ces deux situations. Pour cette détermination, les hauteurs métacentriques

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

sont rapportées à la masse m du flaperon. Pour des études ultérieures, il peut être intéressant de rapporter ces hauteurs métacentriques au déplacement de forme V_f en écrivant :

$$GM_f = GM \frac{m}{\rho V_f}$$

Les Figure 16 et Figure 17 représentent les expériences de flottabilité sur des vues CAO. Sur ces figures sont représentés les positions du centre de la surface de flottaison et du centre de volume de la forme fermée. Les petites marques rouges sur la face émergée du flaperon correspondent aux centres des boules utilisées par le système Qualisys®.

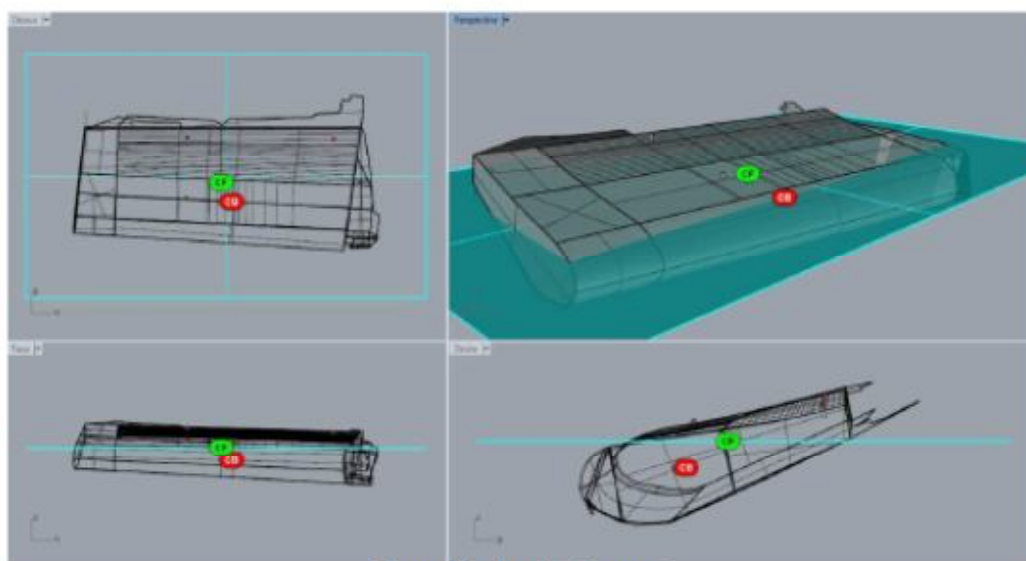


Figure 16 : Intrados immergé

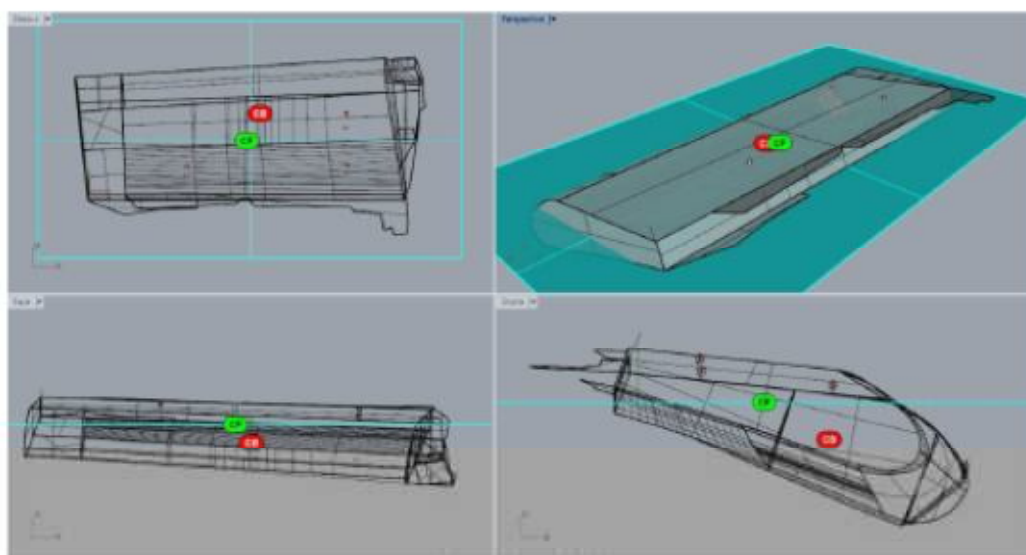


Figure 17 : Extrados immergé

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

L'annexe 5 compare, sous des angles de vue très proches, différentes images CAO du flaperon aux photos prises par DGA TA durant les essais.

4.3 Résultats

4.3.1 Surfaces projetées

Les Figure 18 et Figure 19 indiquent les grandes longueurs et les surfaces projetées du Flaperon pour les deux sens de flottaison.

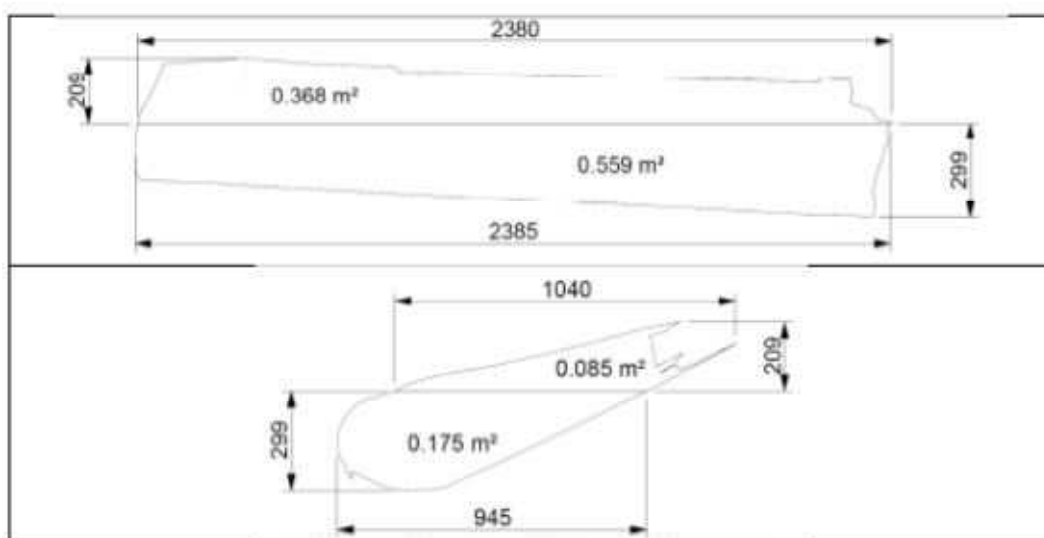


Figure 18 : Surfaces projetées - Intrados émergé

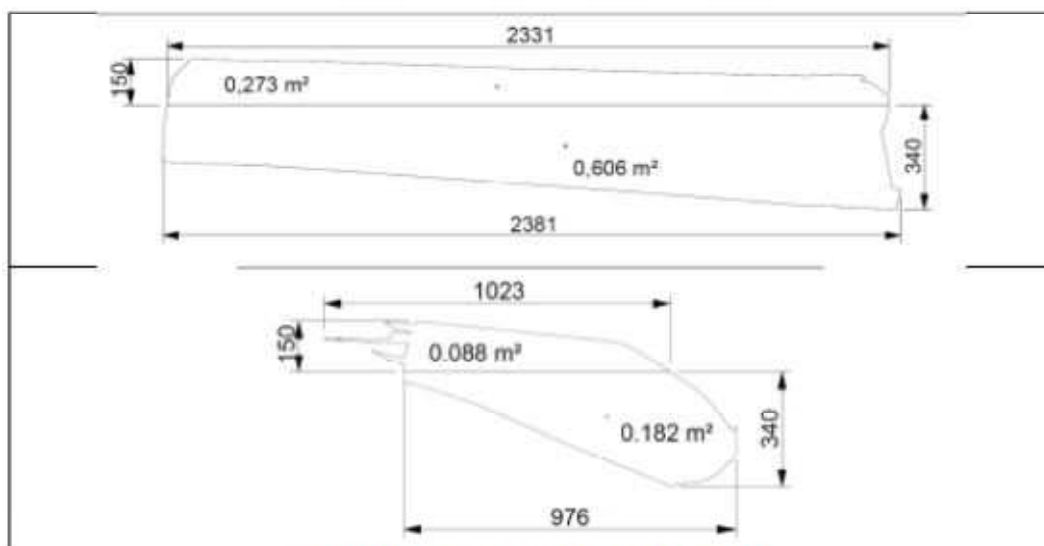


Figure 19 : Surface projetées - Extrados émergé

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

4.3.2 Synthèse

Le Tableau 3 rassemble les données relatives à l'hydrostatique du flaperon telles qu'elles ont pu être estimées à partir des mesures réalisées par DGA Techniques hydrodynamiques sur le site de Balma du 25 au 28/08/2015 et en utilisant le relevé des formes réalisé par DGA Techniques aéronautiques.

Situation Intrados			Emergé	Immergé
Masse	m	kg	39.7	39.7
Déplacement de forme	V_f	m ³	0.2569	0.2580
Position du centre de volume de forme	x_B	m	1.143	1.163
	y_B	m	0.593	0.583
	z_B	m	0.152	0.110
Surface de flottaison effective	A_W	m ²	0.131	0.178
Position du centre de flottaison effective	x_F	m	1.385	1.085
	y_F	m	0.485	0.396
Hauteur métacentrique longitudinale relative à la masse	GM_L	m	2.011	2.219
Hauteur métacentrique longitudinale relative au déplacement de forme V_f	GM_{Lf}	m	0.304	0.334
Hauteur métacentrique transversale relative à la masse	GM_T	m	0.503	0.206
Hauteur métacentrique transversale relative au déplacement de forme V_f	GM_{Tf}	m	0.076	0.031
Tirant d'eau maximum	T_S	m	0.299	0.340
Surface latérale projetée des œuvres vives	A_{LS}	m ²	0.559	0.606
Surface frontale projetée des œuvres vives	A_{XS}	m ²	0.175	0.182
Tirant d'air maximum	T_E	m	0.209	0.150
Surface latérale projetée des œuvres mortes	A_{LE}	m ²	0.368	0.273
Surface frontale projetée des œuvres mortes	A_{XE}	m ²	0.085	0.088

Tableau 3: Données hydrostatiques

5 Conclusions

En complément d'un premier compte rendu (réf. [b]), le présent rapport détaille les mesures de flottabilité réalisées à dans les locaux de DGA Techniques aéronautiques, à Balma, du 24 au 28 Août 2015. Ces essais montrent, qu'en état, l'élément de flaperon possède une flottabilité assez importante. Pour une masse à sec de 39.7 kg, 37 kg de lests supplémentaires sont nécessaires pour l'immerger totalement. Sa position d'équilibre qui est sensiblement la même que l'intrados soit vers le haut ou vers le bas, est telle que le bord d'attaque est immergé alors que le bord de fuite est légèrement dégagé de la surface.

Pour ces deux attitudes, ce rapport fournit les caractéristiques hydrostatiques et l'estimation de grandeurs géométriques définissant les parties immergées et émergées.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Références

- [a] Lettre de Monsieur François Granger du 03/08/2015 définissant les analyses à mener.
- [b] E11374 Pièce n°1 Essai de flottabilités pour DGA TA Compte rendu des essais d'août 2015. N°15-501367 DT/DGA TH/SDT/UP_Perf du 14/09/2015

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Annexe 1 : Nomenclature

A_{LE}	Surface latérale projetée des œuvres mortes (Emerged)	m^2
A_{LS}	Surface latérale projetée des œuvres vives (Submerged)	m^2
A_W	Surface de flottaison effective	m^2
A_{XE}	Surface transversale projetée des œuvres mortes (Emerged)	m^2
A_{XS}	Surface latérale projetée des œuvres vives (Submerged)	m^2
C_B	Centre de carène (volume immergé)	
C_F	Centre de flottaison	
G	Centre de gravité	
GM_L	Hauteur métacentrique longitudinale relative à la masse	m
GM_{Lf}	Hauteur métacentrique longitudinale relative au déplacement de forme V_f	m
GM_T	Hauteur métacentrique transversale relative à la masse	m
GM_{Tf}	Hauteur métacentrique transversale relative au déplacement de forme V_f	m
g	Accélération de la pesanteur	$m\ s^{-2}$
m	Masse	kg
m_i	Masse additionnelle	kg
T_E	Tirant d'air maximal des œuvres mortes	m
T_S	Tirant d'eau maximum des œuvres vives	m
x_F, y_F	Position du centre de flottaison	m
x_B, y_B, z_B	Position du centre de volume (de forme)	m
θ	Angle d'assiette (rotation autour d'un axe parallèle à Oy)	deg
ϕ	Angle de gîte (rotation autour d'un axe parallèle à Ox)	deg
ρ	Densité de l'eau	$kg\ m^{-3}$
$\nabla = \frac{m}{\rho}$	Déplacement vrai	m^3
V_f	Déplacement de forme	m^3
V_i	Volume immergé d'une masse additionnelle (le cas échéant)	m^3

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques**Annexe 2 : Mesures hydrostatiques du 26/08/2015 - flaperon intrados émergé**

Position	Masse (kg)	Z (mm)	Assiette (°)	Gîte (°)
A	0	-148.150	-1.721	11.617
A	1	-141.727	-1.455	11.627
A	2	-135.977	-1.341	11.477
A	3	-130.857	-1.224	11.351
B	0	-148.150	-1.721	11.617
B	1	-139.351	-1.182	11.772
B	2	-132.152	-0.728	11.806
B	3	-126.114	-0.412	11.711
C	0	-148.150	-1.721	11.617
C	1	-143.511	-2.016	11.320
C	2	-140.301	-2.331	10.870
C	3	-136.245	-2.674	10.429
D	0	-148.150	-1.721	11.617
D	1	-138.864	-1.695	10.723
D	2	-128.599	-1.731	9.748
D	3	-117.925	-1.861	8.687
E	0	-148.150	-1.721	11.617
E	1	-144.765	-1.448	12.439
E	2	-145.342	-1.197	13.114
E	3	-146.125	-1.081	13.847

Mesures de hauteur, d'assiette et de gîte :

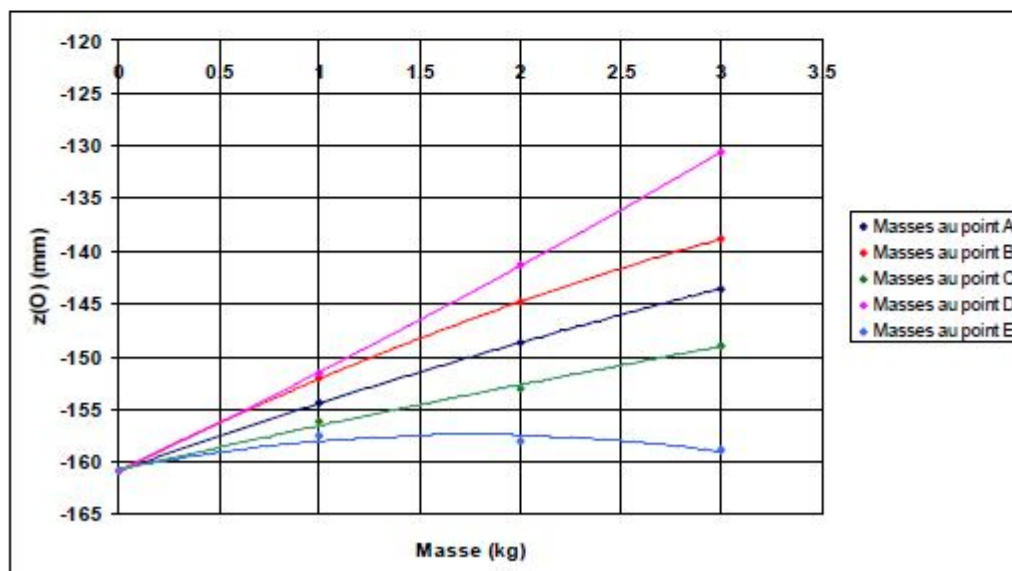


Figure A2-1 : Flaperon intrados émergé – hauteur de la boule « Origine »

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

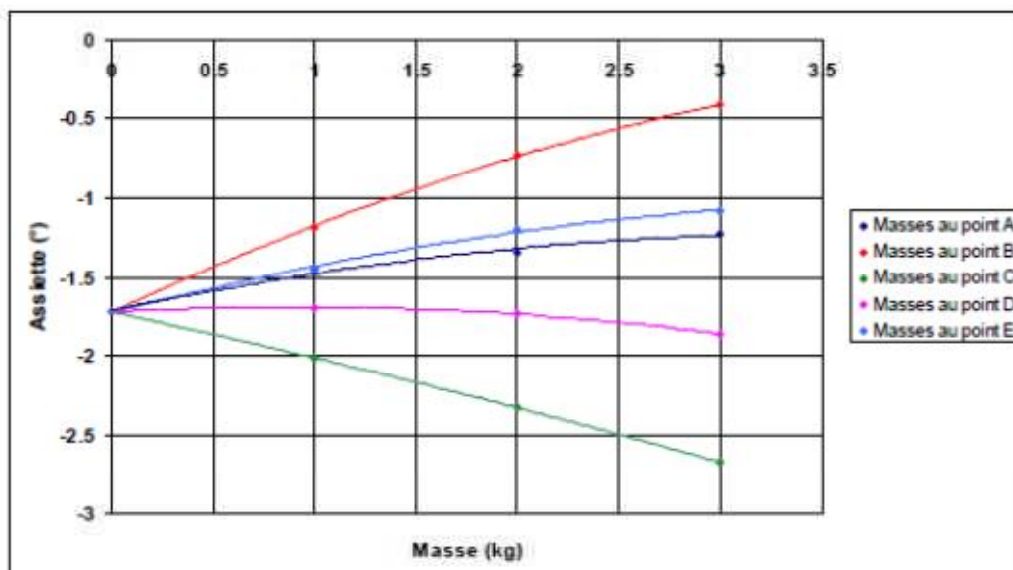


Figure A2-2 : Flaperon intrados émergé – Prise d'assiette

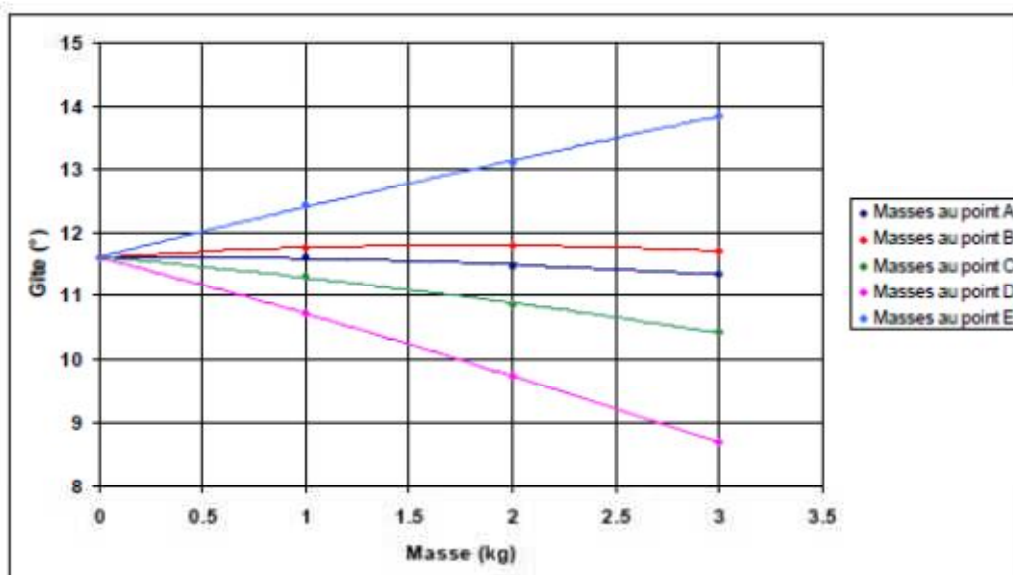


Figure A2-3 : Flaperon intrados émergé – Prise de gîte

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques**Annexe 3 : Mesures hydrostatiques du 27/08/2015 - flaperon
extrados émergé**

Position	Masse (kg)	Z (mm)	Assiette (°)	Gîte (°)
A	0	-74.100	1.812	6.023
A	1	-66.297	2.027	5.643
A	2	-58.909	2.194	5.267
A	3	-51.507	2.322	4.847
B	0	-74.100	1.812	6.023
B	1	-60.068	2.498	5.171
B	2	-48.157	3.014	4.448
B	3	-39.921	3.487	4.249
C	0	-72.248	1.941	5.842
C	1	-71.578	1.716	5.916
C	2	-71.457	1.334	6.263
C	3	-71.475	0.981	6.379
D	0	-72.248	1.941	5.842
D	1	-52.301	2.557	3.521
D	2	-39.057	2.815	1.890
D	3	-33.118	2.858	0.977
E	0	-70.828	2.058	5.851
E	1	-72.135	1.999	6.770
E	2	-73.030	1.901	7.837
E	3	-74.306	1.858	8.858

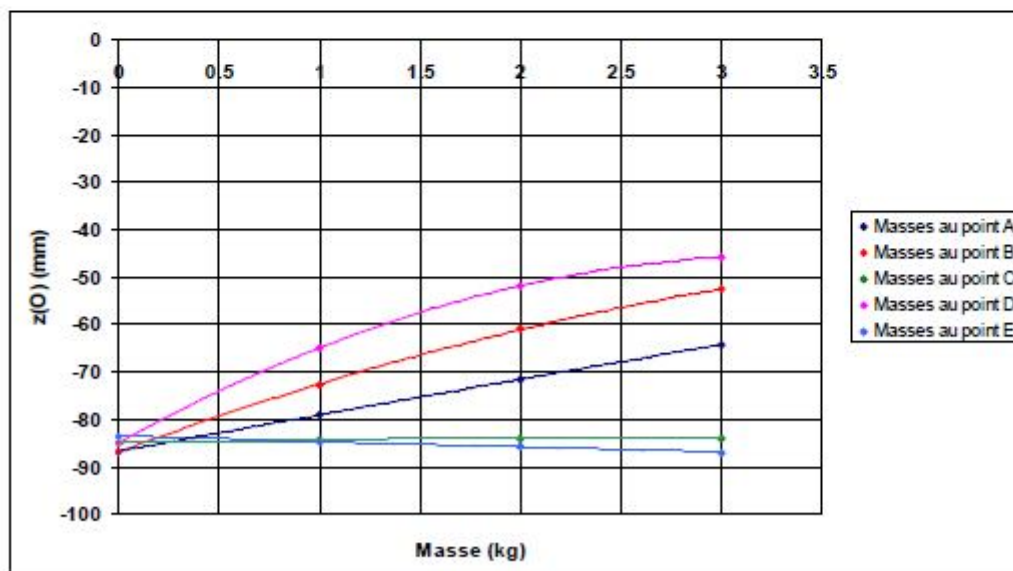


Figure A3-1 : Flaperon extrados émergé – hauteur de la boule « Origine »

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

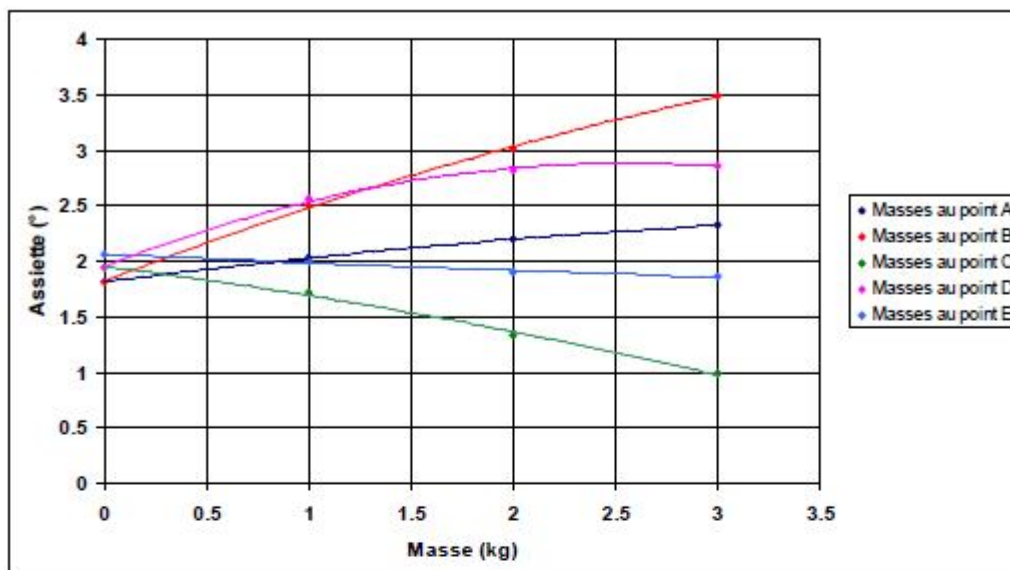
DGA Techniques
hydrodynamiques

Figure A3-2 : Flaperon extradors émergé – Prise d'assiette

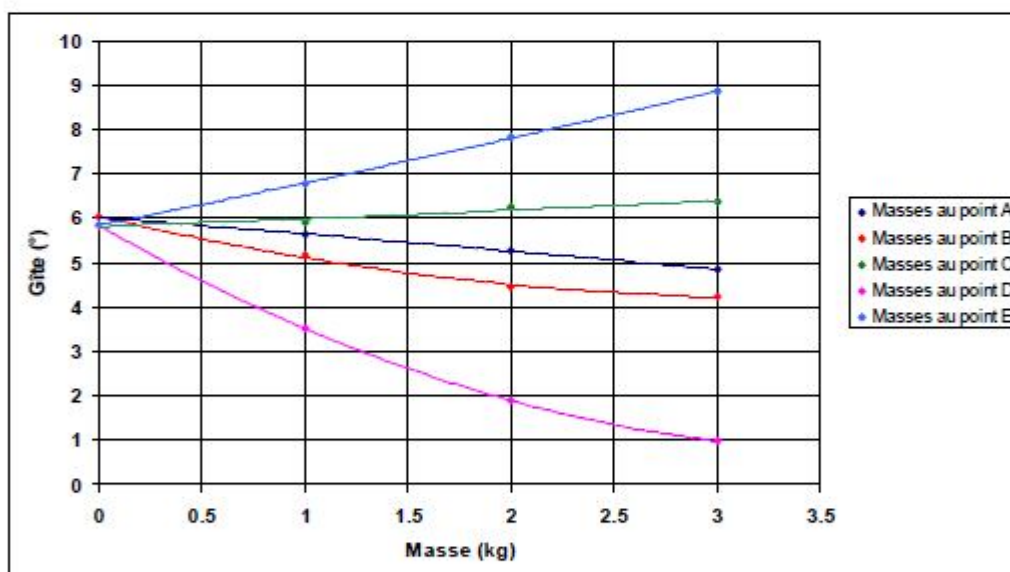


Figure A3-3 : Flaperon extradors émergé – Prise de gîte

Il apparaît sur les mesures de la configuration « extradors émergé » une petite dérive sur les différentes grandeurs relevées en absence de masse. Il semblerait que cette dérive soit liée à des éléments réalisés en textiles (donc pouvant absorber ou relâcher de l'eau) qui ont été plus ou moins immergés lors de la mise en place des différentes masses. Cette hypothèse semble la plus vraisemblable car à partir du moment où les masses ont été retirées du flaperon, ce dernier a commencé à retourner vers sa position originelle. Cette dérive des grandeurs n'est pas apparue sur la configuration « intrados émergé » car les éléments textiles proches de la surface présentaient un volume bien plus faible.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques**Annexe 4 : Détermination des hauteurs métacentriques**

Les valeurs de θ_{ref} et φ_{ref} correspondent aux angles d'assiette et de gîte du flaperon en absence de toute masse.

$$B(m_i, x_i) = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n x_i (m_i - \rho_i \nabla_i)$$

$$A(m_i, y_i) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n y_i (m_i - \rho_i \nabla_i)$$

Mesures de GM_L et GM_T :

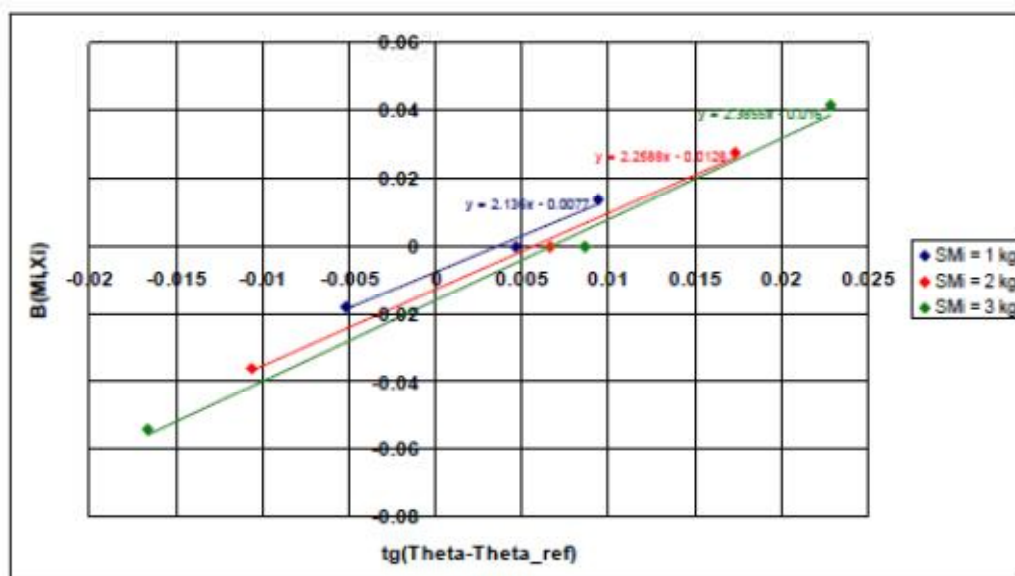


Figure A4-1 : Flaperon intrados émerge – Mesure de GM_L

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

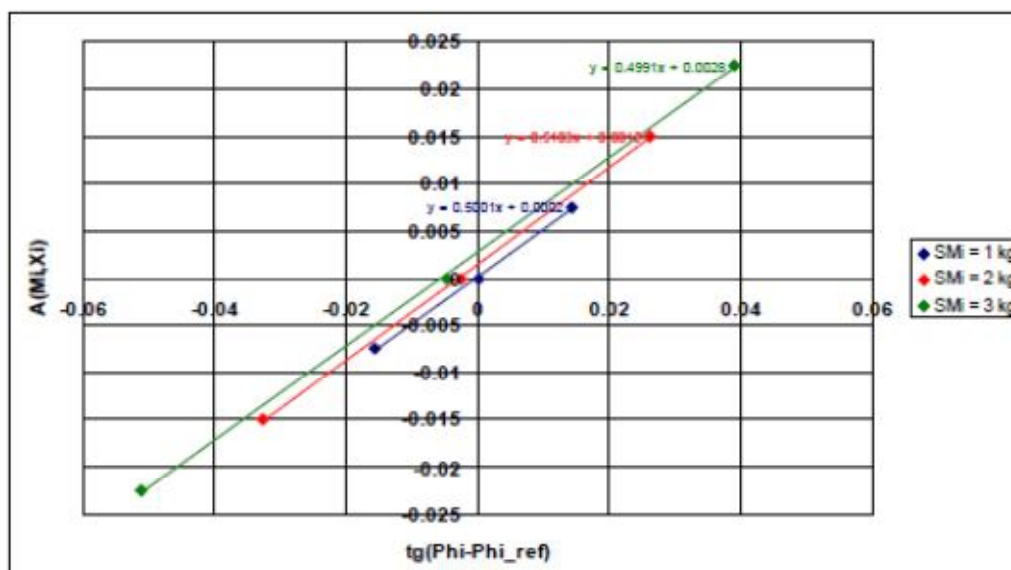


Figure A4-2 : Flaperon intrados émergé – Mesure de GM_T

Masses (kg)	GM_L	GM_T
1	2.136	0.500
2	2.259	0.510
3	2.385	0.499
0	2.011 (*)	0.503 (*)

(*) : ces grandeurs correspondent à des valeurs extrapolées pour une masse nulle

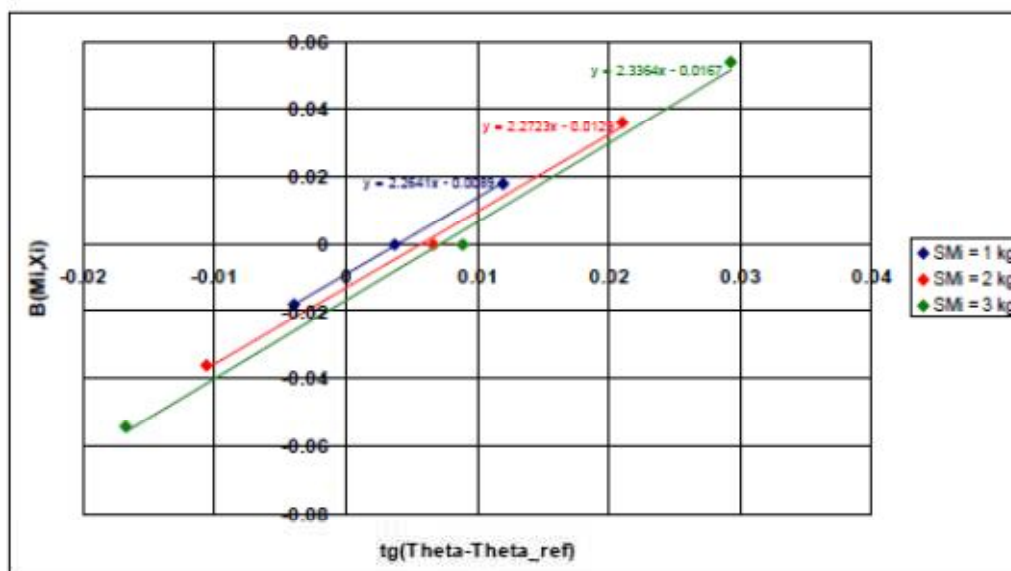
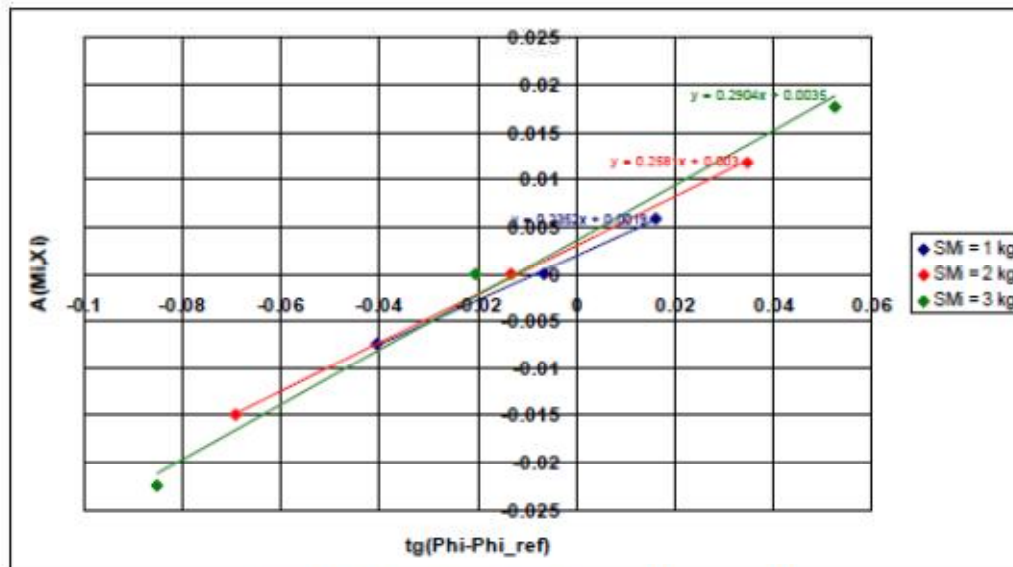


Figure A4-3 : Flaperon extrados émergé – Mesure de GM_L

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiquesFigure A4-4 : Flaperon extrados émergé – Mesure de GM_T

Masses (kg)	GM_L	GM_T
1	2.264	0.235
2	2.272	0.258
3	2.336	0.290
0	2.219 (*)	0.206 (*)

(*) : Ces grandeurs correspondent à des valeurs extrapolées pour une masse nulle

De ces différentes mesures, il est également possible de déterminer avec une précision satisfaisante la position du centre de flottaison exprimée dans le repère du fichier IGES fourni par DGA Techniques hydrodynamiques :

Configuration flaperon	x (mm)	y (mm)
Intrados émergé	1385	485
Extrados émergé	1085	396

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Annexe 5 : Représentation CAO de la flottaison intrados émergé

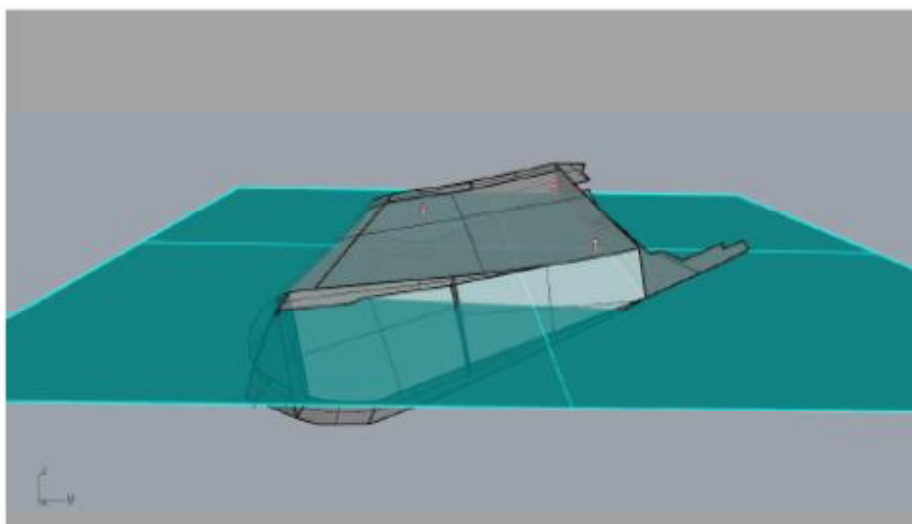


Figure A5-1

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

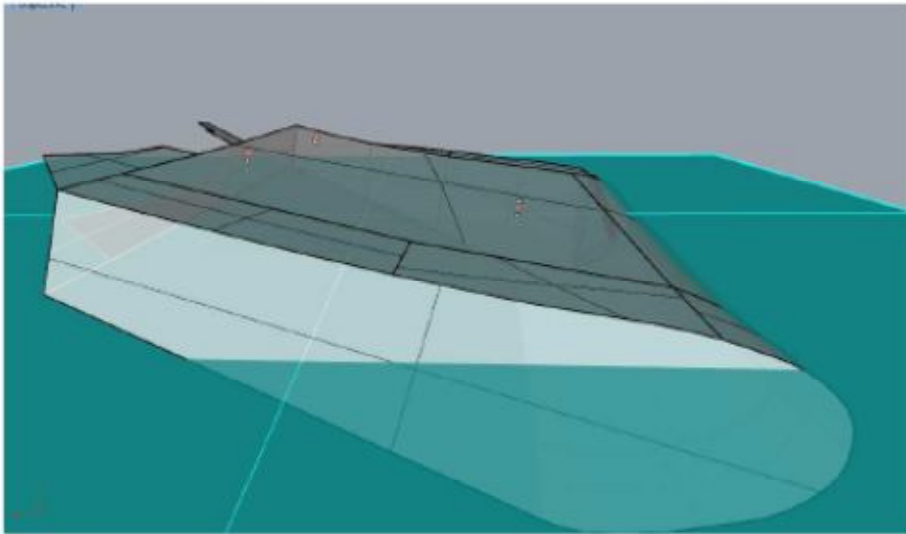


Figure A5-2

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

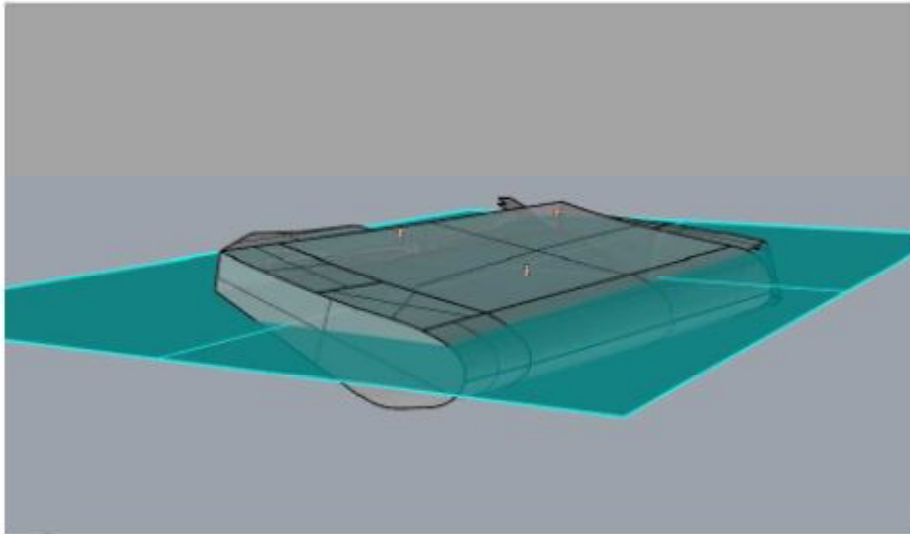


Figure A5-3

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

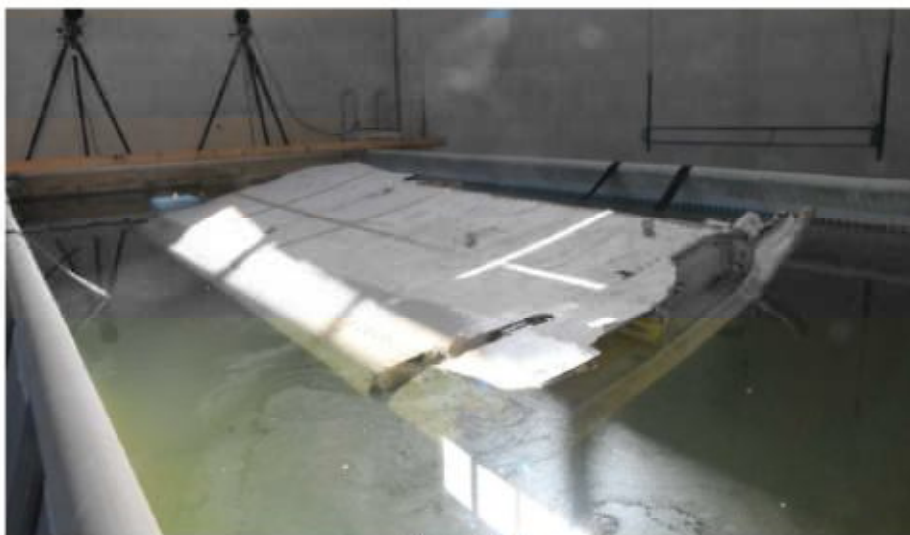
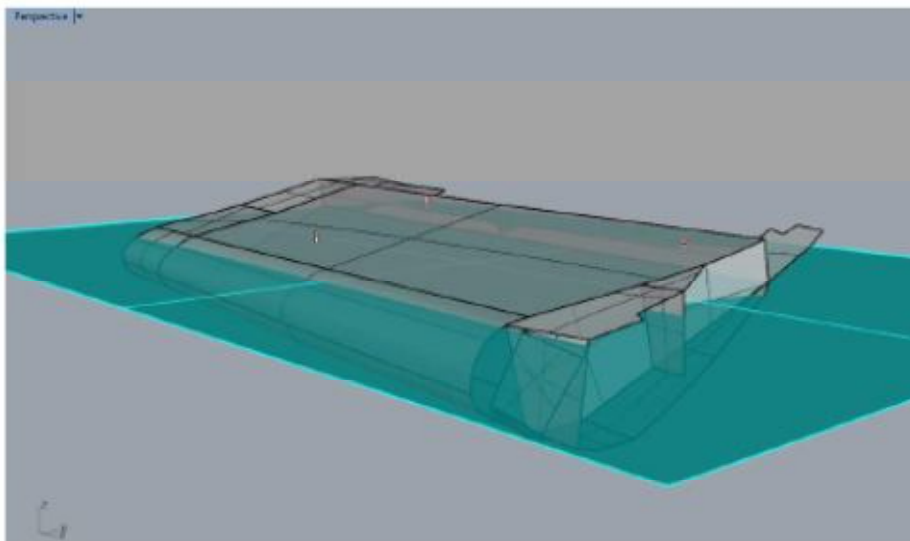


Figure A5-4

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

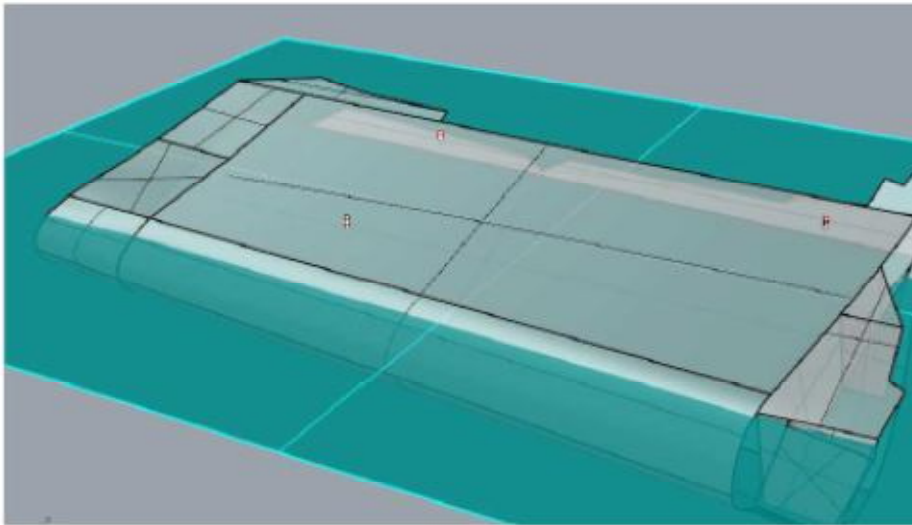


Figure A5-5

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Annexe 6 : Représentation CAO de la flottaison extradors émerge

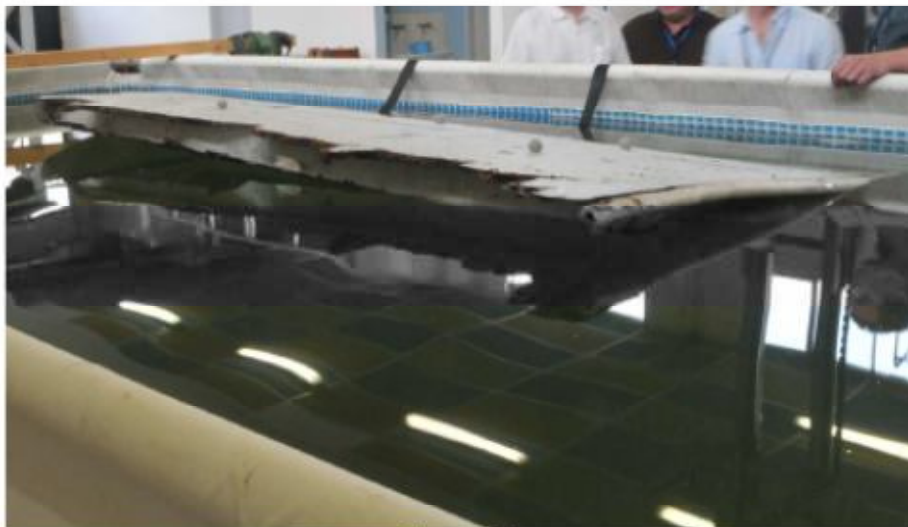
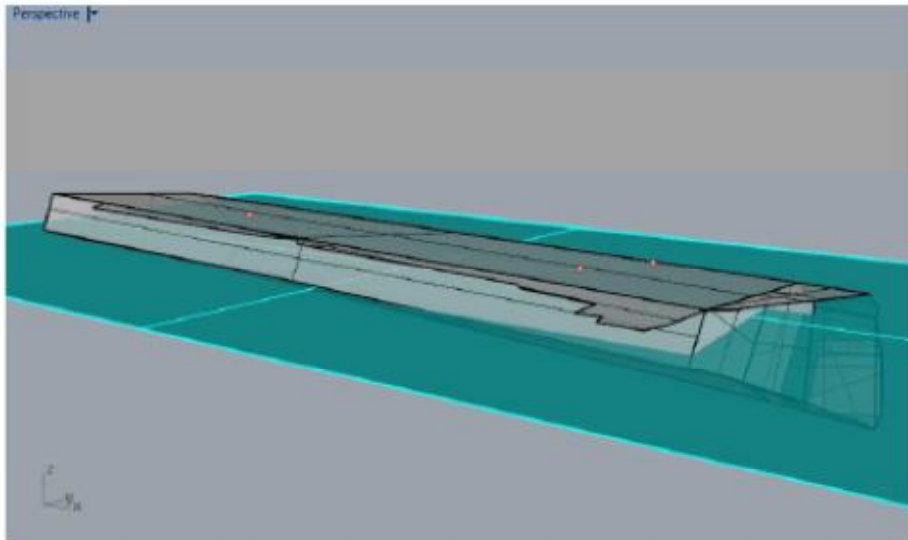


Figure A6-1

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

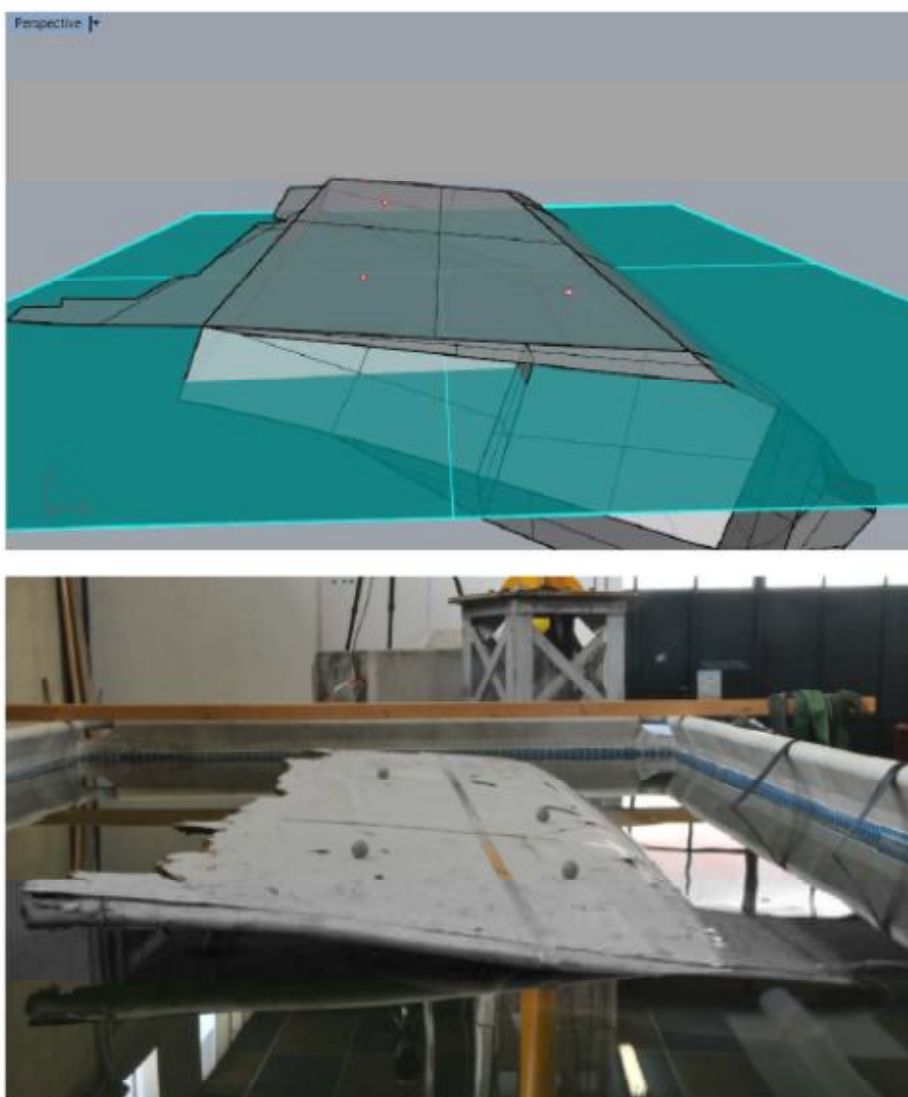


Figure A6-2

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

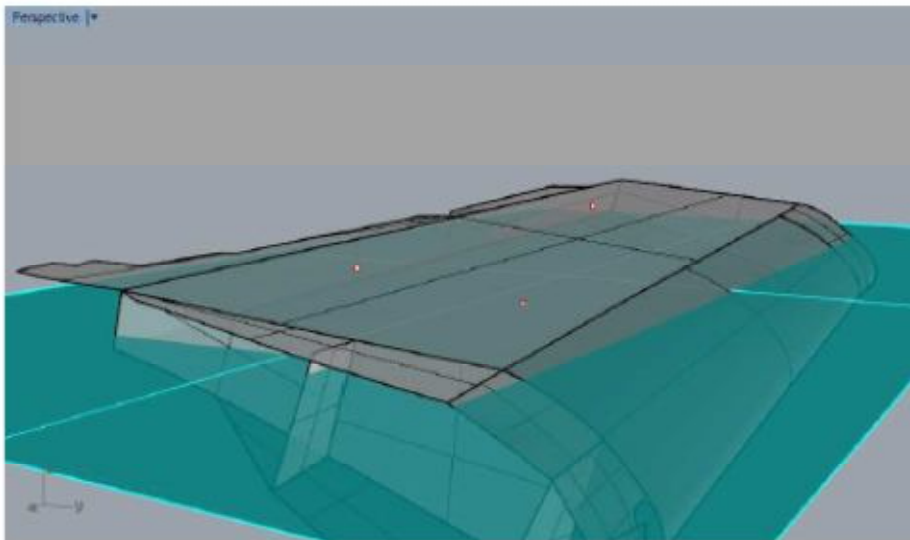


Figure A6-3

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°2

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

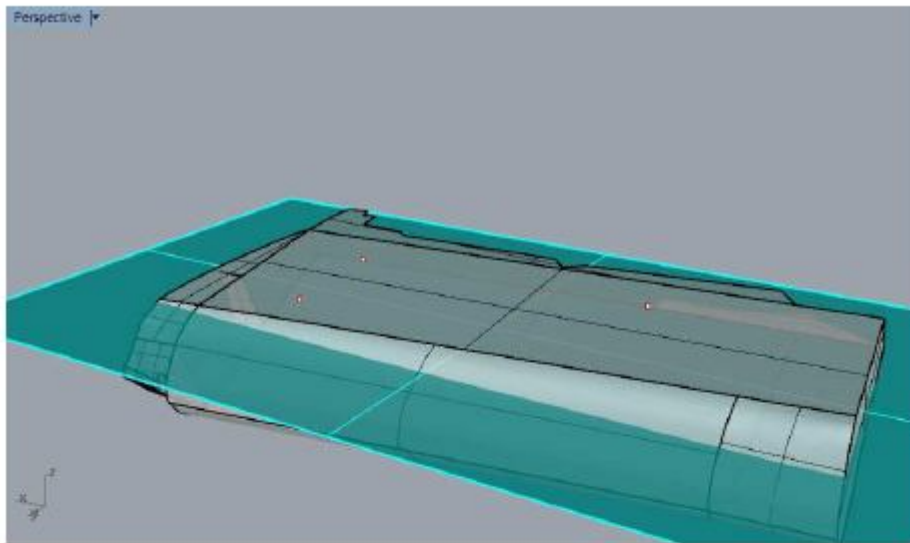


Figure A6-4

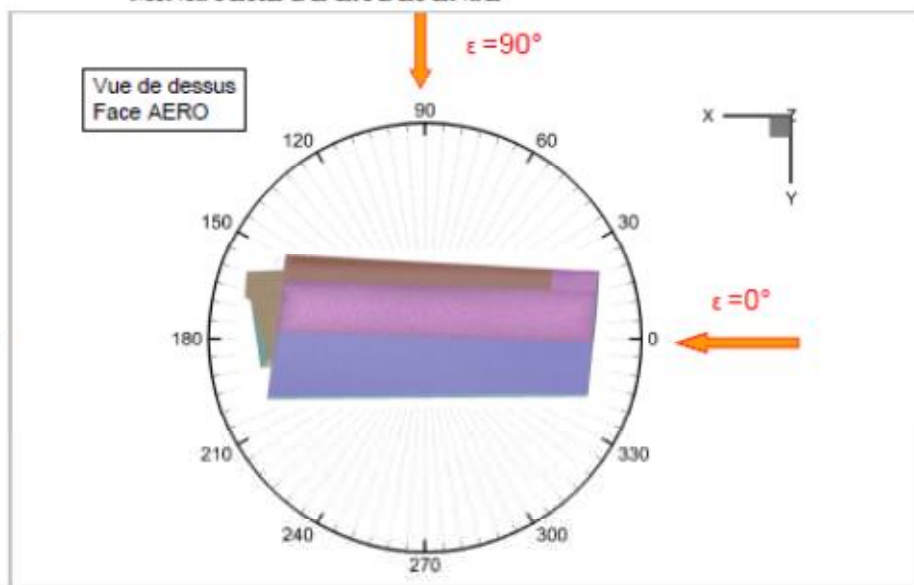
DIFFUSION RESTREINTE

Annexe 9 : Report DGA TH E11374 part 3 – Calculation of the coefficients of dérive

DIFFUSION RESTREINTE



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



E 11374
ESSAI DE FLOTTABILITE POUR DGA TA

PIECE N° 3
SIMULATIONS DE POLAIRES AERODYNAMIQUES ET
HYDRODYNAMIQUES (LOT 2)

Enregistrement : N°16-500560 DT/DGA TH/SDT/UP_PERF du 01/04/2016

Réf. et date de commande :

Auteur : B. Pengam
Manager d'affaires : F. Lorin
Validation : Sous-Directeur Technique

Classification : Diffusion restreinte
Déclassification : 30 ans à valider par l'officier de sécurité
Nb de pages du document : 32 pages

Direction Générale de l'Armement
DGA Techniques hydrodynamiques
Chaussée du Vexin - BP 510 - 27105 Val de Reuil Cedex
Téléphone : 33 (0) 2.32.59.78.00 - Télécopie : 33 (0)2.32.59.77.77
E-mail : dga.techniques-hydrodynamiques@dga.defense.gouv.fr

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Type de rapport

☒ Rapport final	☐ Rapport intermédiaire	☐ Rapport provisoire
---	--	---

Indice du rapport

Version	Date	Description des pages modifiées ET justification de la modification	Auteur
Initiale	10/02/2016	création du document	B. Pengam

Diffusion

Diffusion externe :

Organisme	Nom du Destinataire	Nb	Livrables (CDROM,...)
TGI de Paris	M le Juge A. Gaudino	1	
Air Expertises	M. F. Grangier	1	
Météo-France	M. P. Daniel	1	
DGA TA	M. C. Bordes	1	

Diffusion interne :

DGA Techniques hydrodynamiques	Nom du Destinataire	Nb	Livrables (CDROM,...)
SDT/CIDC	Archives	Original	

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Résumé

Par l'intermédiaire de DGA Techniques aéronautiques, et dans le cadre d'une expertise judiciaire menée à la demande du Tribunal de grande instance de Paris, DGA Techniques hydrodynamiques a apporté son concours à la caractérisation de l'élément de flaperon trouvé en juillet 2015 à la Réunion. Une seconde étude, objet du présent rapport, est destinée à réaliser des simulations de trainées aérodynamiques et hydrodynamiques de l'élément pour différents gisements et d'en préciser les caractéristiques de trainée.

Les calculs réalisés dans cette étude définissent les polaires aérodynamiques et hydrodynamiques de l'élément de flaperon. Exploités dans un modèle d'évolution temporel, ces résultats permettent d'évaluer les situations d'équilibre et d'estimer les paramètres qui y sont associés.

Sous l'action d'un vent constant et suivant la situation initiale, il peut exister 2 positions s'équilibre stable de dérive pour l'élément : bord de fuite ou bord d'attaque face au vent. L'angle de dérive prend les valeurs de 18° ou 32° à gauche selon le cas avec des vitesses de dérive respectivement égales à 3.29 et 2.76% de la vitesse du vent incident. Les valeurs de ces angles et des rapports de vitesses sont indépendantes de la vitesse du vent.

Type de clients :	DGA (code 1800)
Famille de navires :	Sans Objet
Domaine :	Résistance – propulsion Tenue à la mer
Moyen :	Numérique
Programme :	
Mots clés :	CFD, flaperon

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Table des matières

<i>Résumé</i>	ii
<i>Table des matières</i>	iii
<i>1 Objet du rapport</i>	1
<i>2 Données d'entrée</i>	1
2.1 Documents à appliquer et de référence	1
2.2 Géométrie	1
2.3 Caractéristiques de la flottaison	2
<i>3 Calculs</i>	2
3.1 Maillages	2
3.2 Conditions de calcul	4
3.2.1 Conditions limites	4
3.2.2 Conditions numériques	4
3.2.3 Caractéristiques des fluides	4
3.3 Cas de calculs	5
3.3.1 Définition des angles des polaires	5
3.3.2 Calculs aérodynamiques	6
3.3.3 Calculs hydrodynamiques	6
<i>4 Résultats</i>	7
4.1 Calculs aérodynamiques	7
4.1.1 Polaires	7
4.1.2 Effets du Reynolds	8
4.2 Calculs hydrodynamiques	9
4.2.1 Polaires	9
4.2.2 Effets du Reynolds	11
4.3 Dérive de l'objet sous chargement aérodynamique et hydrodynamique	13
4.3.1 Trajectoire de l'élément pour un vent constant de 10m/s	14
4.3.2 Influence de la vitesse du vent	15
4.3.3 Influence des écoulements sur l'enfoncement et l'inclinaison	16
<i>5 Conclusion</i>	17
<i>6 Annexe 1 : Calculs des positions d'équilibre en dérive sous l'action d'un vent constant</i>	18
6.1 Principe	18
6.2 Efforts et moments	18
6.3 Simulation temporelle : cap initial $\psi_0 = 10^\circ$ - Equilibre n°1	22
6.4 Simulation temporelle : cap initial $\psi_0 = 180^\circ$ - Equilibre n°2	25

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

1 Objet du rapport

Par l'intermédiaire de DGA Techniques aéronautiques, et dans le cadre d'une expertise judiciaire menée à la demande du Tribunal de grande instance de Paris, DGA Techniques hydrodynamiques a apporté son concours à la caractérisation de l'élément de flaperon trouvé en juillet 2015 à la Réunion. Cette étude est destinée à réaliser des simulations de trainées aérodynamiques et hydrodynamiques de l'élément pour différents gisements et d'en préciser les caractéristiques de trainée.

2 Données d'entrée

2.1 Documents à appliquer et de référence

R[1] E11374 Essai de flottabilité pour DGA TA pièce n°1 Compte-rendu des essais d'Août 2015

R[2] E11374 Essai de flottabilité pour DGA TA pièce n°2 Hydrostatique

2.2 Géométrie

La géométrie initiale du flaperon est représentée sur la Figure 1.

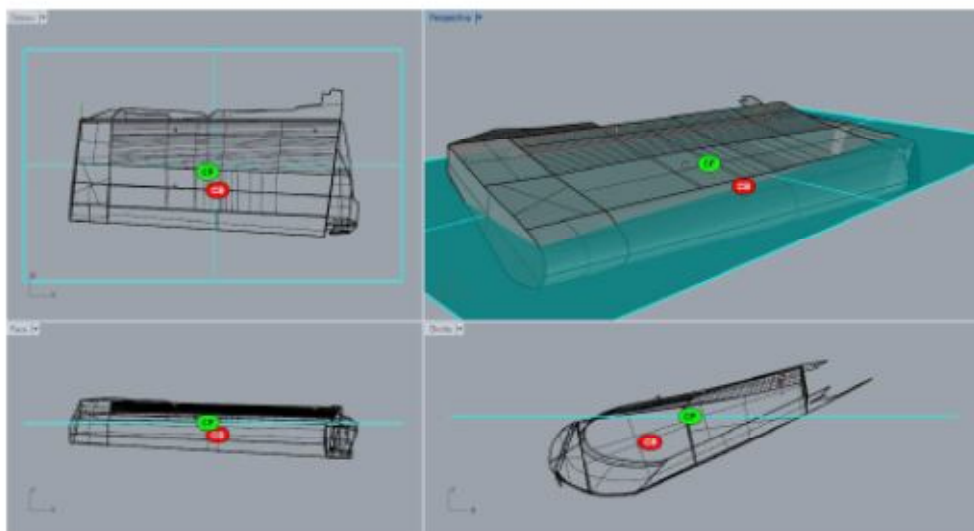


Figure 1 - Géométrie du flaperon – extrados immergé

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

2.3 Caractéristiques de la flottaison

Les essais de flottabilité (Lot 1) décrit en R[1-2] ont permis de déterminer les caractéristiques de l'élément en surface pour les configurations intrados immergé et extrados immergé.

La présente étude (Lot 2) se limite à la configuration « extrados immergé », considérée comme étant celle qui a prédominé lors de la dérive de l'objet.

On donne ci-dessous les principales caractéristiques de flottaison de cette configuration (R[2]).

			Extrados immergé
Masse	m	kg	39.7
Déplacement de forme	∇	m^3	0.25690
Position du centre de volume de forme	x_B	m^3	1.14300
	y_B	m	0.59300
	z_B	m	0.15200
Surface latérale projetée des oeuvres vives	A_{Ls}	m^2	0.5590
Surface frontale projetée des oeuvres vives	A_{xs}	m^2	0.1750
Surface latérale projetée des oeuvres mortes	A_{LE}	m^2	0.367
Surface frontale projetée des oeuvres mortes	A_{xE}	m^2	0.085
Tirant d'eau maximum	T_s	m	0.299
Surface de flottaison effective	A_w	m^2	0.1310
Hauteur métacentrique transversale relative au déplacement de forme	GM_{Tr}	m	0.0760

Figure 2 - Caractéristiques utiles de flottaison de la configuration "extrados immergé" (R[2])

3 Calculs

3.1 Maillages

Afin d'être en mesure de réaliser des calculs, la géométrie de l'objet définie à partir de relevés photogrammétriques décrits en R[2] a été légèrement modifiée (Figure 3) : les plans fins en extrémité de profil ont été supprimés. Ils ne représentent qu'une surface très faible par rapport à l'élément complet et sont difficilement modélisable numériquement de façon satisfaisante.

Les différents plans minces en côté de profil (Figure 3) ont été joints par des surfaces pour former un volume fermé.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

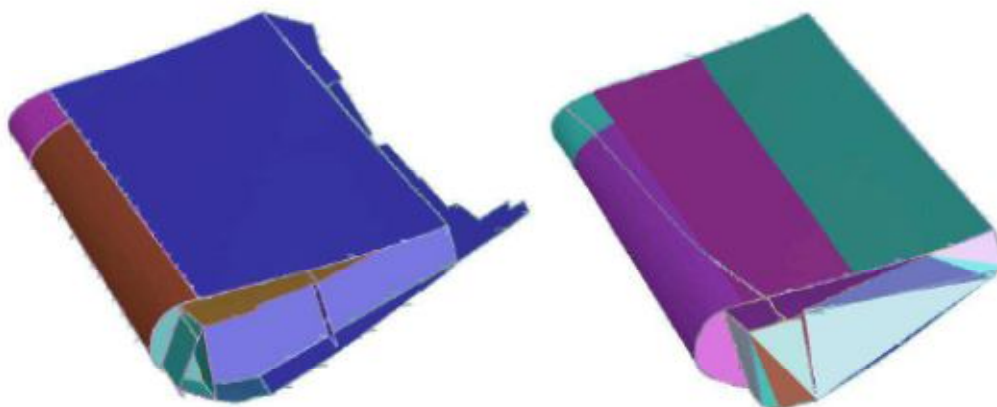


Figure 3 - Modifications de la géométrie du flaperon

Le plan de flottaison est placé selon les résultats des essais (R[2]).

Deux maillages ont été réalisés grâce au mailleur Fluent Meshing version 16 :

- L'un pour les calculs aérodynamiques.
- L'autre pour les calculs hydrodynamiques.

Les domaines de calcul sont parallélépipédiques de dimension 40m*40m*20m, 20m étant la distance dans la direction Z perpendiculaire à la surface libre (Figure 4).

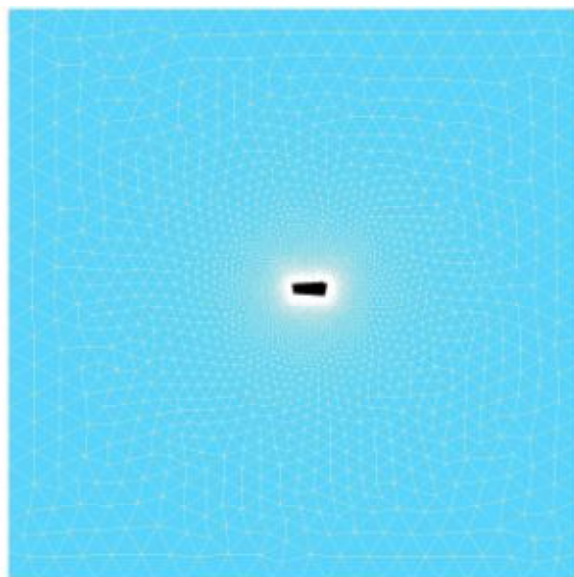


Figure 4 - Domaine de calcul

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Les tailles de mailles surfaciques sur l'objet sont comprises entre 1mm et 8mm.

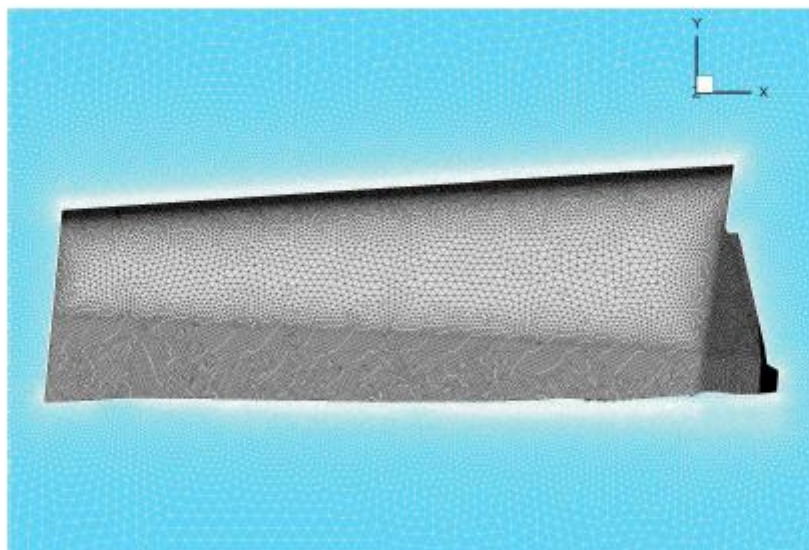


Figure 5 - Maillage de la partie hydro

Les couches limites sont modélisées par 6 couches de cellules prismatiques.

3.2 Conditions de calcul

3.2.1 Conditions limites

La surface libre est représentée par une condition de type symétrie. Les autres bordures extérieures du domaine sont de type « Velocity Inlet », ce qui correspond à une vitesse d'écoulement.

3.2.2 Conditions numériques

Toutes les simulations ont été réalisées à l'aide du solveur RANS Fluent version 13, capable de prendre en compte les deux fluides en présence (air et eau). Le modèle de turbulence k- ϵ RNG combiné à une loi de paroi de type « Enhanced Wall treatment » est utilisé.

3.2.3 Caractéristiques des fluides

Le fluide *hydrodynamique* est de l'eau de mer aux caractéristiques suivantes :

$$\rho = 1026 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\mu = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$$

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Le fluide *aérodynamique* est de l'air aux caractéristiques suivantes :

$$\rho = 1.225 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\mu = 0.0000156 \text{ kg.m}^{-1}.s^{-1}$$

3.3 Cas de calculs

3.3.1 Définition des angles des polaires

La définition des angles de gisement est représentée sur la Figure 6 pour les calculs aérodynamiques et sur la Figure 7 pour les calculs hydrodynamiques.

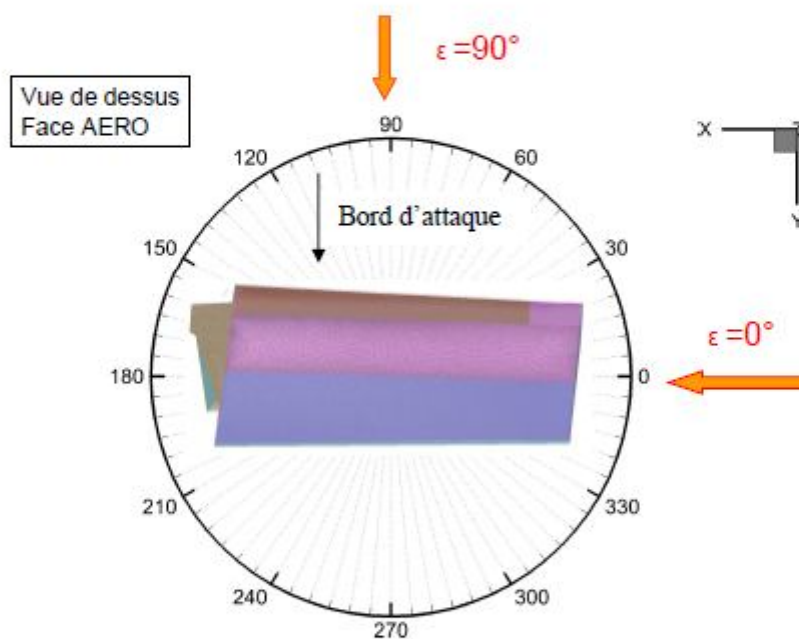


Figure 6 - Orientation de la polaire - côté AERO

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

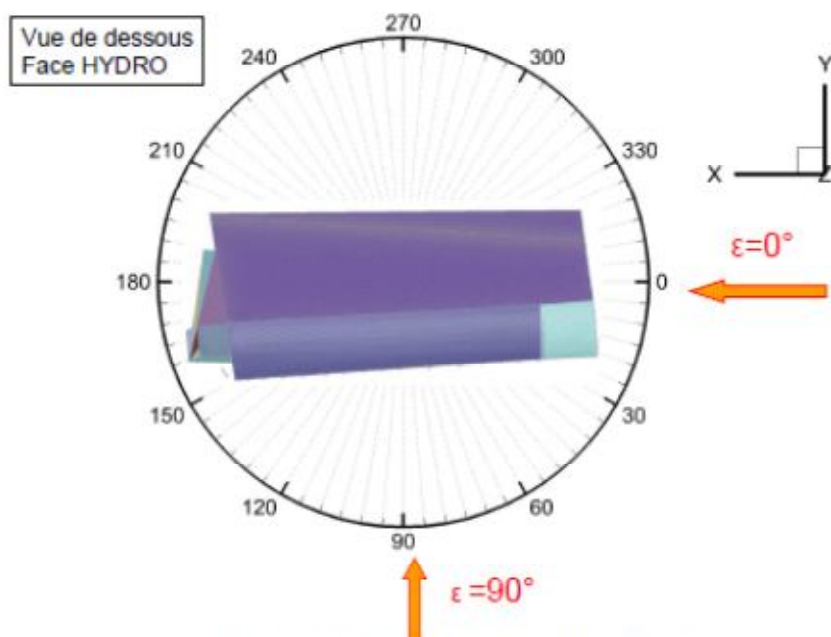


Figure 7 - Orientation de la polaire - côté HYDRO

3.3.2 Calculs aérodynamiques

Les calculs aérodynamiques ont été réalisés avec un vent supposé constant de 10m/s pour des gisements de 0° à 360° par pas de 30°.

Des calculs complémentaires ont été réalisés aux gisements de vent incident de 0° et 60° et pour des vitesses de 5, 15 et 20m/s afin de vérifier la sensibilité des coefficients au nombre de Reynolds.

3.3.3 Calculs hydrodynamiques

La vitesse d'écoulement considérée pour établir la polaire d'efforts hydrodynamiques a été estimée en s'appuyant sur les résultats des calculs aérodynamiques. Pour une vitesse de vent constant de 10m/s avec un gisement de 90° jugé proche de l'équilibre probable et en admettant que les coefficients aérodynamiques et hydrodynamiques sont du même ordre de grandeur, on obtient une vitesse de courant constante en moyenne de 0.24m/s.

Comme pour les calculs aérodynamiques, l'influence du nombre de Reynolds sur les coefficients hydrodynamiques est évaluée par des calculs complémentaires pour des gisements de 0, 60 et 270° et des vitesses de 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 et 0.9m/s.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

4 Résultats

Les résultats sont exprimés sous formes de coefficients d'efforts C_X , C_Y , C_Z et de moments C_L , C_M et C_N définis par :

$$C_{X,Y,Z} = \frac{F_{X,Y,Z}}{\frac{1}{2} \rho A_{ref} V^2} \quad C_{L,M,N} = \frac{M_{X,Y,Z}}{\frac{1}{2} \rho A_{ref} L_{ref} V^2}$$

Où :

- F est l'effort suivant l'axe considéré en N
- M est le moment suivant l'axe considéré autour du centre de volume de forme en N.m
- ρ est la masse volumique du milieu considéré en kg.m^{-3}
- A_{ref} une surface de référence en m^2
 - $A_{ref}=0.085\text{m}^2$ pour l'aéro
 - $A_{ref}=0.175\text{m}^2$ pour l'hydro
- L_{ref} est une longueur de référence : $L_{ref}=2.38\text{m}$
- V est la vitesse d'écoulement en m/s

4.1 Calculs aérodynamiques

4.1.1 Polaires

On donne dans le tableau ci-dessous les coefficients d'efforts et les coefficients de moments aérodynamiques pour chaque gisement calculé.

Vitesse m/s	Gisement °	C_X -	C_Y -	C_Z -	C_L -	C_M -	C_N -
10	0	0.78167	-0.03950	2.19328	0.12758	0.82423	-0.04971
10	30	0.67301	0.79458	1.28501	0.12462	0.28039	-0.22868
10	60	0.34634	1.54653	-0.59574	-0.05463	-0.31267	-0.34664
10	90	-0.27981	1.78787	-1.46909	-0.07878	-0.11454	-0.07275
10	120	-0.78700	1.55735	-0.95117	-0.02879	0.19342	0.15263
10	150	-0.47794	1.30169	0.51497	0.10900	-0.00483	0.17546
10	180	-0.49893	0.08758	1.33308	0.12074	-0.32596	0.05243
10	210	-0.49577	-1.77664	5.51933	0.97211	-0.16109	0.02081
10	240	0.06899	-4.65881	12.80746	1.87036	0.24664	0.05986
10	270	0.28884	-4.79033	11.16598	1.38681	-0.08705	0.12536
10	300	0.41509	-4.78351	14.09135	1.94367	1.44793	0.45062
10	330	0.98827	-1.98243	7.13601	1.16976	1.25386	0.21016

Figure 8 - Polaires aérodynamiques

Ces coefficients sont tracés sur les Figure 9 et Figure 10.

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

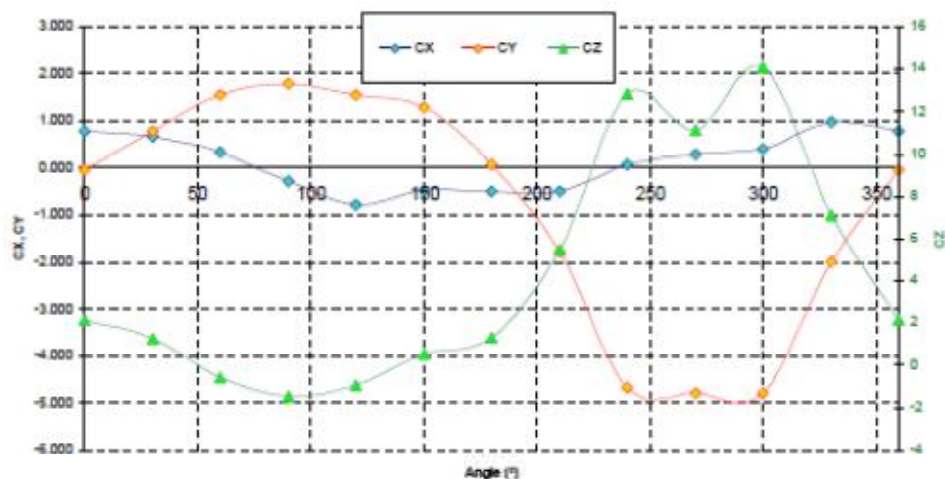
DGA Techniques
hydrodynamiques

Figure 9 - Polaire de coefficients d'efforts aérodynamiques

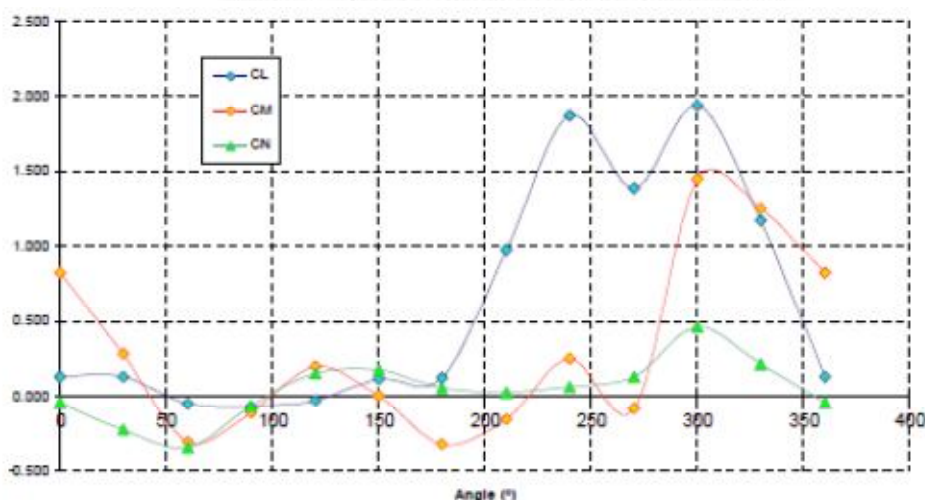


Figure 10 - Polaire de coefficients de moments aérodynamiques

4.1.2 Effets du Reynolds

Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus avec différentes vitesses de vent.

Vitesse m/s	Gisement °	Cx -	Cy -	Cz -	Cl -	Cm -	Cn -
5	0	0.79325	-0.03001	2.29325	0.13928	0.86173	-0.04607
10	0	0.78167	-0.03950	2.19328	0.12758	0.82423	-0.04971
15	0	0.78167	-0.03950	2.19328	0.12758	0.82423	-0.04971
20	0	0.77027	-0.02496	2.21584	0.13285	0.82701	-0.04430
5	60	0.33669	1.56245	-0.62283	-0.05829	-0.29831	-0.34227
10	60	0.34634	1.54653	-0.59574	-0.05463	-0.31267	-0.34664
15	60	0.34582	1.54115	-0.56831	-0.05071	-0.32400	-0.34545
20	60	0.33986	1.53676	-0.55949	-0.04960	-0.32285	-0.34363

Figure 11 - Sensibilité au Reynolds

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Pour le cas 0° , correspondant à un écoulement parallèle à l'axe X, on note des variations de C_X inférieures à 3% et de C_N inférieures à 8%. Pour le cas 60° , C_X et C_Y ne varient pas de plus de 3%, 2% pour C_N . Dans tous les cas, et dans cette plage de vitesse, les efforts aérodynamiques sont très peu sensibles au nombre de Reynolds.

4.2 Calculs hydrodynamiques

4.2.1 Polaires

Les simulations hydrodynamiques ont été réalisées avec une vitesse de courant constante de 0.24m/s.

Contrairement aux calculs aérodynamiques, les calculs hydrodynamiques font apparaître des situations pour lesquelles les écoulements sont fortement décollés (Figure 12) conduisant à des fluctuations des efforts. Les calculs ont été réalisés en stationnaires et en instationnaires afin de mieux préciser les valeurs moyennes d'efforts.

Les écarts observés sur les efforts selon les deux approches sont faibles à l'exception du gisement de 150° qui fait apparaître des écarts sensibles sur les coefficients de moment, essentiellement en C_M (Figure 13 et Figure 14).

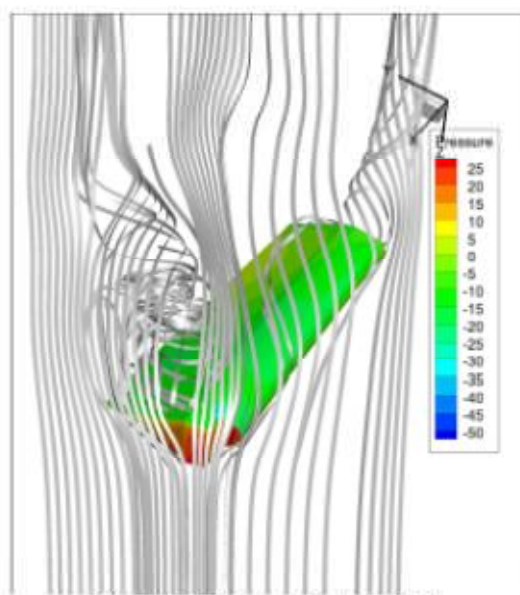


Figure 12 - Cisement hydro de 150°

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

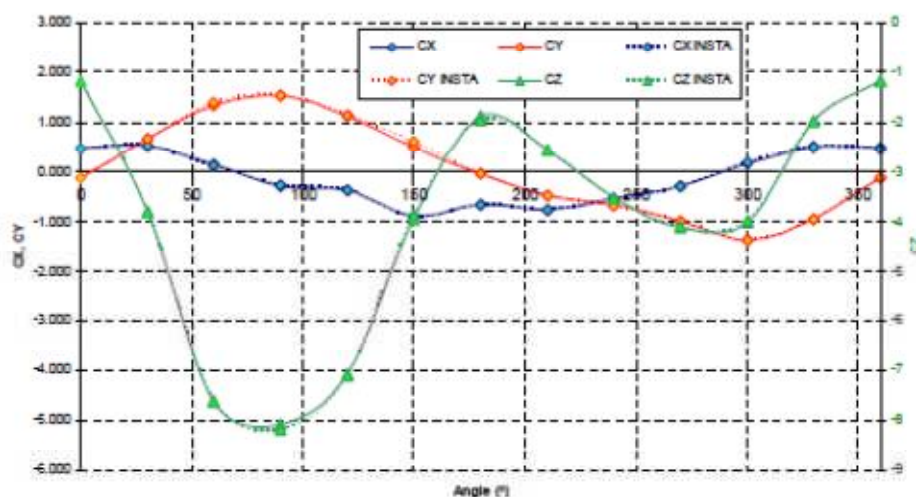


Figure 13- Polaire de coefficients d'efforts hydrodynamiques

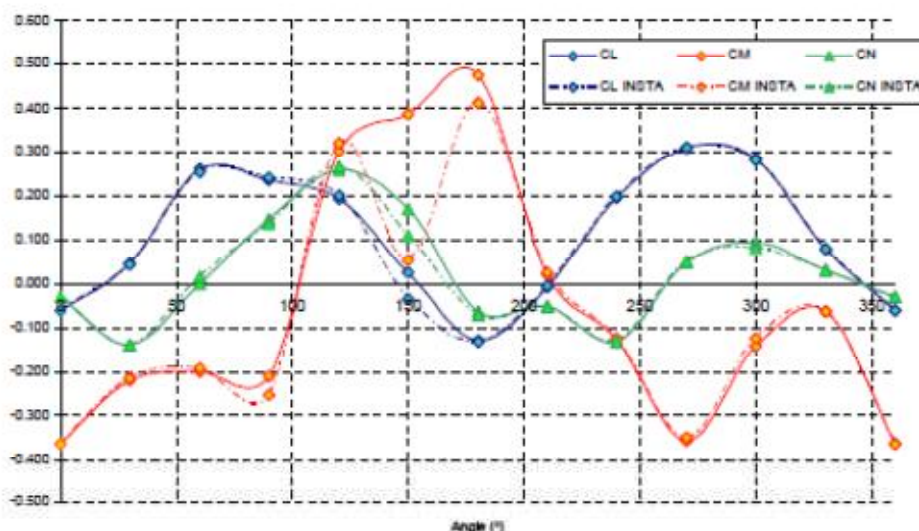


Figure 14 - Polaire de coefficients de moments hydrodynamiques

On retient finalement les valeurs issues des calculs instationnaires, obtenues par la moyenne des efforts calculés aux cours des 100 derniers pas de temps. Le tableau ci-dessous synthétise les résultats sous forme de coefficients. On rappelle que la surface de référence pour exprimer les coefficients hydrodynamiques vaut $A_{ref} = 0.175m^2$.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Vitesse m/s	Gisement °	Cx -	Cy -	Cz -	Cl -	Cm -	Cn -
0.24	0	0.46195	-0.11746	-1.17047	-0.06060	-0.36546	-0.03018
0.24	30	0.51725	0.67207	-3.81007	0.04423	-0.21517	-0.13872
0.24	60	0.13109	1.37995	-7.62025	0.25470	-0.19269	0.01633
0.24	90	-0.26310	1.53001	-8.20153	0.24235	-0.25245	0.13808
0.24	120	-0.37786	1.13483	-7.11900	0.20071	0.32051	0.26783
0.24	150	-0.91893	0.59084	-3.87954	-0.03459	0.05702	0.10981
0.24	180	-0.65367	-0.03278	-1.96814	-0.13230	0.41156	-0.07154
0.24	210	-0.75599	-0.47812	-2.57085	-0.00574	0.02597	-0.05381
0.24	240	-0.53416	-0.67862	-3.54173	0.19818	-0.12505	-0.12861
0.24	270	-0.28096	-0.98818	-4.10078	0.31051	-0.35039	0.05049
0.24	300	0.18118	-1.35523	-3.96668	0.28278	-0.12457	0.08183
0.24	330	0.49376	-0.94583	-1.99084	0.07996	-0.06201	0.03188

Figure 15 - Polaires hydrodynamiques instationnaires (valeurs moyennes)

4.2.2 Effets du Reynolds

Pour le gisement de 270°, les Figure 16, Figure 17 et Figure 18 représentent les coefficients d'efforts et de moments selon les 3 degrés de liberté. On observe que les coefficients calculés dépendent sensiblement de la vitesse et donc du nombre de Reynolds.

Il faut en revanche constater que cette dépendance est modérée sur la plage 0.24 à 0.5m/s, avec des variations n'excédant pas les 2% sur C_Y et C_N , et 7% sur C_X .

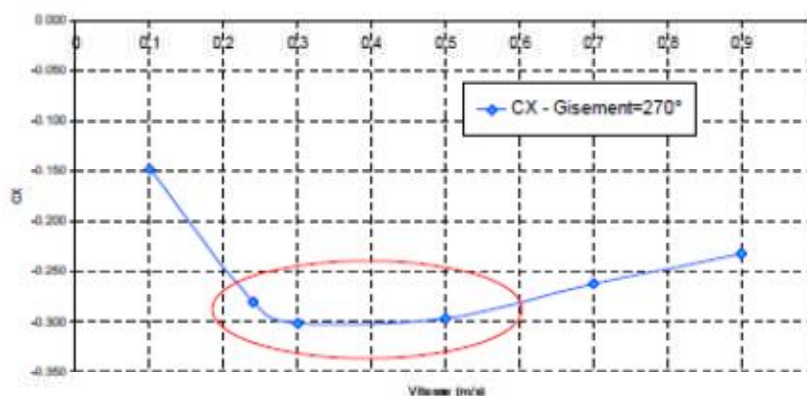


Figure 16 - Effets du Reynolds - Gisement = 270° - CX

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

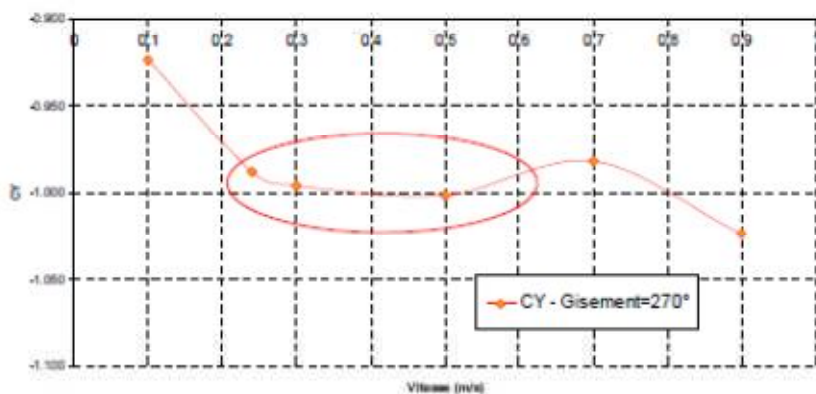


Figure 17- Effets du Reynolds - Gisement = 270° - CY

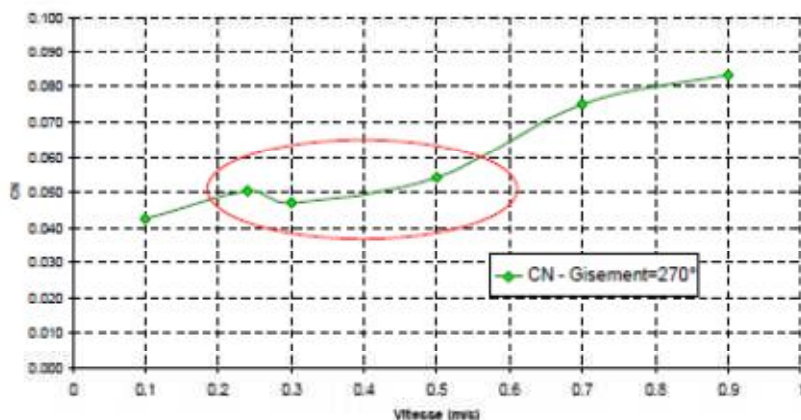


Figure 18- Effets du Reynolds - Gisement = 270° - CN

On donne dans le tableau ci-dessous les coefficients pour chaque vitesse évaluée.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Vitesse m/s	Gisement °	Cx -	Cy -	Cz -	Cl -	Cm -	Cn -
0.1	0	0.48434	-0.12800	-1.12885	-0.06068	-0.33789	-0.03219
0.24	0	0.48613	-0.11898	-1.17858	-0.06153	-0.36357	-0.03122
0.3	0	0.48512	-0.13740	-1.18107	-0.06272	-0.36889	-0.03715
0.5	0	0.48645	-0.13837	-1.18450	-0.05862	-0.37753	-0.03797
0.7	0	0.44529	-0.09513	-1.16129	-0.05763	-0.37380	-0.02070
0.9	0	0.44572	-0.09722	-1.18445	-0.05922	-0.37443	-0.02243
0.1	60	0.08821	1.28456	-7.31784	0.28916	-0.25525	-0.02889
0.24	60	0.15230	1.33288	-7.63038	0.26182	-0.20051	0.00170
0.3	60	0.11544	1.37418	-7.70725	0.24579	-0.18316	0.01484
0.5	60	-0.00246	1.41643	-7.68726	0.22064	-0.22029	0.01954
0.7	60	0.05265	1.43128	-7.69395	0.21007	-0.22184	0.02694
0.9	60	-0.00888	1.49489	-7.84412	0.19803	-0.19516	0.04032
0.1	270	-0.14766	-0.92387	-3.88591	0.30446	-0.28179	0.04250
0.24	270	-0.28096	-0.98818	-4.10078	0.31051	-0.35039	0.05049
0.3	270	-0.30194	-0.99557	-4.17387	0.31341	-0.36414	0.04710
0.5	270	-0.29716	-1.00165	-4.15789	0.31206	-0.35617	0.05411
0.7	270	-0.26235	-0.98187	-3.97791	0.30806	-0.37132	0.07508
0.9	270	-0.23206	-1.02347	-3.65986	0.29177	-0.40639	0.08345

Figure 19 - Effets du Reynolds - hydro

4.3 Dérive de l'objet sous chargement aérodynamique et hydrodynamique

Afin d'évaluer les conditions de dérive de l'élément de flaperon soumis à différentes vitesses de vent, un modèle d'évolution temporelle à 3 degrés de liberté (X, Y et N) a été utilisé.

Lors de ces simulations, on admet que la vitesse de dérive est toujours très inférieure à la vitesse du vent, si bien que l'on peut confondre vent réel et vent apparent.

L'ensemble de ce modèle est détaillé en Annexe I.

On rappelle dans le tableau ci-dessous les résultats en termes de coefficients aérodynamiques et hydrodynamiques. L'angle ε est le gisement par rapport au repère de l'objet.

Angle ε °	AERO			HYDRO		
	$C_{XA}(\varepsilon)$ -	$C_{YA}(\varepsilon)$ -	$C_{NA}(\varepsilon)$ -	$C_{XH}(\varepsilon)$ -	$C_{YH}(\varepsilon)$ -	$C_{NH}(\varepsilon)$ -
0	0.78167	-0.03950	-0.04971	0.46195	-0.11746	-0.03018
30	0.67301	0.79458	-0.22866	0.51725	0.67207	-0.13872
60	0.34634	1.54653	-0.34664	0.13169	1.37995	0.01633
90	-0.27981	1.78787	-0.07275	-0.26310	1.53001	0.13808
120	-0.78700	1.55735	0.15263	-0.37786	1.13483	0.26783
150	-0.47794	1.30169	0.17546	-0.91821	0.59009	0.10891
180	-0.49893	0.08758	0.05243	-0.65367	-0.03278	-0.07154
210	-0.49577	-1.77664	0.02081	-0.75599	-0.47812	-0.05381
240	0.06899	-4.65881	0.05986	-0.53416	-0.67662	-0.12861
270	0.28884	-4.79033	0.12536	-0.28096	-0.98818	0.05049
300	0.41509	-4.78351	0.45962	0.18118	-1.35523	0.08183
330	0.98827	-1.98243	0.21016	0.49376	-0.94583	0.03188

Figure 20- Résumé des simulations

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

4.3.1 Trajectoire de l'élément pour un vent constant de 10m/s

Pour une vitesse de vent constante de 10m/s, les simulations temporelles ont permis de mettre en évidence 2 situations d'équilibres entre efforts aérodynamiques et hydrodynamiques dépendant de la situation initiale.

Notons β l'angle entre le vecteur vitesse de l'objet et le vecteur vitesse du vent.

Pour un cap initial appartenant à $[-3^\circ, \sim 172^\circ]$, les simulations tendent vers la **situation n°1** (Figure 21), bord de fuite face au vent, caractérisée par :

- dérive $\delta = +126^\circ$
- vitesse $u = -0.193$ m/s
- vitesse $v = -0.266$ m/s
- soit une vitesse de $V = 0.33$ m/s
- cap de $\psi = +144^\circ$
- un angle de dérive par rapport au vent de $\beta = 18^\circ$ vers la gauche

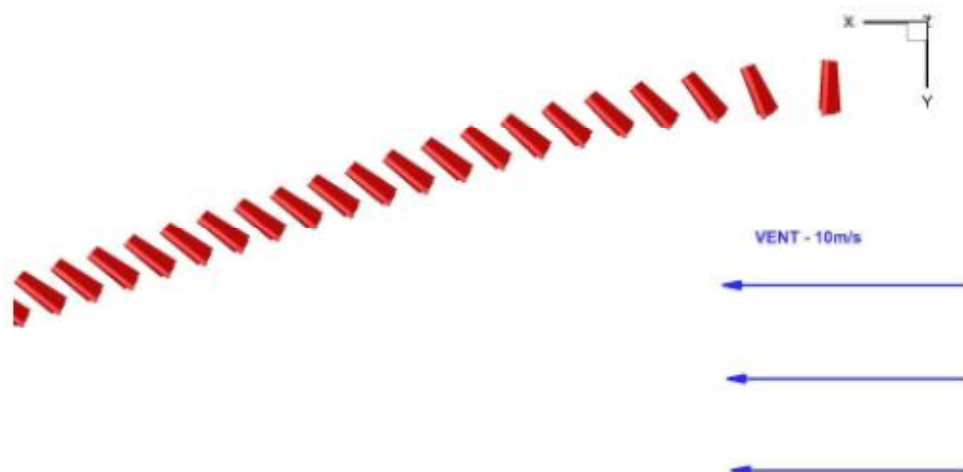


Figure 21 - Trajectoire flaperon - Vent à 10m/s – Situation d'équilibre n°1

Dans les autres cas, les simulations tendent vers la **situation n°2** (Figure 22), bord d'attaque face au vent, caractérisée par:

- dérive $\delta = -118^\circ$
- vitesse $u = -0.131$ m/s
- vitesse $v = +0.243$ m/s
- soit une vitesse de $V = 0.27$ m/s
- cap de $\psi = -86^\circ$
- un angle de dérive par rapport au vent de $\beta = 32^\circ$ vers la gauche

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

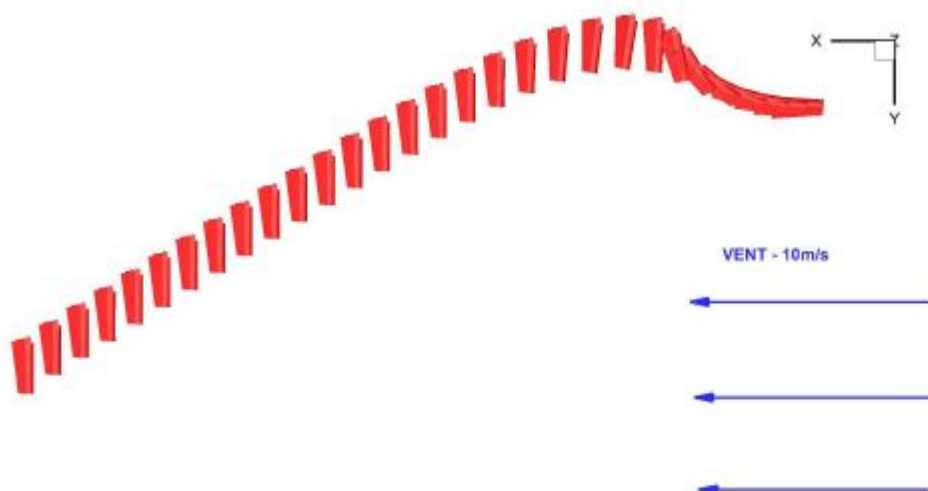
DGA Techniques
hydrodynamiques

Figure 22 - Trajectoire flaperon - Vent à 10m/s - Situation d'équilibre n°2

4.3.2 Influence de la vitesse du vent

Les simulations d'équilibre ont été reprises pour différentes vitesses de vent (5, 15 et 20m/s). Les 2 situations de dérive sont retrouvées indépendamment de la vitesse du vent. Le tableau ci-dessous indique les valeurs de vitesse de dérive obtenue pour différentes vitesses de vent.

Vitesse m/s	Equilibre 1		Equilibre 2	
	Dérive / vent °	Vitesse dérive m/s	Dérive / vent °	Vitesse dérive m/s
5	18	0.164	32	0.138
10	18	0.32900	32	0.276
15	18	0.49300	32	0.414
20	18	0.658	32	0.552

Figure 23 - Influence de la vitesse du vent sur la dérive

On vérifie que la vitesse relative de l'eau à 0.24m/s retenue est cohérente des vitesses effectivement obtenues. Pour des vitesses de vent comprises entre 5 et 20m/s, les vitesses de dérive par rapport à l'eau restent dans une plage pour laquelle la sensibilité des coefficients au nombre de Reynolds reste modérée (paragraphe 4.1.2).

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Compte tenu de la modélisation, la vitesse de dérive est, en régime permanent, une fonction linéaire de la vitesse du vent illustrée sur la Figure 24.

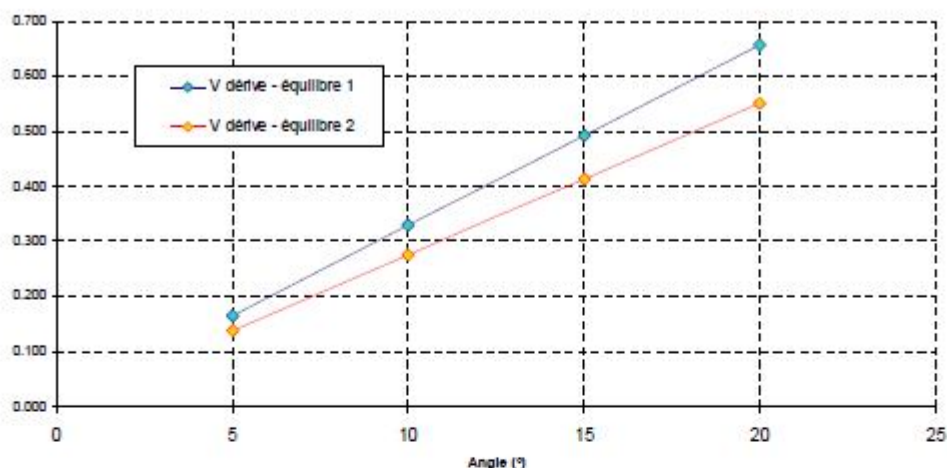


Figure 24- Influence de la vitesse du vent sur la vitesse de dérive

4.3.3 Influence des écoulements sur l'enfoncement et l'inclinaison

On donne ici les résultats en efforts F_z et moments M_x et M_y cumulés aérodynamiques et hydrodynamiques pour les 2 situations d'équilibres obtenues :

Situation 1 :

- $F_z = -10.67 \text{ N}$
- $M_x = 15.17 \text{ N.m}$
- $M_y = -4.36 \text{ N.m}$
-

Situation 2 :

- $F_z = -28.16 \text{ N}$
- $M_x = 2.5 \text{ N.m}$
- $M_y = -2.95 \text{ N.m}$

Les essais en R[2] ont permis de déterminer la raideur en enfoncement pour la configuration étudiée (extrados immergé), traduite par une surface de flottaison effective :

$$A_w = \frac{dF_z}{g\rho dZ} = 0.131 \text{ m}^2.$$

On en déduit la variation d'enfoncement due à un effort F_z selon :

$$dF_z = 0.131.g\rho dZ$$

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Les hauteurs métacentriques ayant également été évaluées en R[2], on peut estimer l'angle de roulis induit autour de X selon :

$$\varphi = \arcsin \frac{M_x}{\rho_{eau} \nabla_f g G M_{Tf}}$$

Et l'angle de tangage autour de Y selon :

$$\theta = \arcsin \frac{M_y}{\rho_{eau} \nabla_f g G M_{lf}}$$

On obtient ainsi les estimations suivantes :

- Pour la situation 1 :
 - Une variation d'enfoncement de -8 mm (enfoncement de 2% du tirant d'eau)
 - Un angle de gîte de $\varphi = 4.5^\circ$
 - Un angle de tangage de $\theta = 0.3^\circ$
- Pour la situation 2 :
 - Une variation d'enfoncement de -2.1 cm (enfoncement de 7% du tirant d'eau)
 - Un angle de gîte de $\varphi = 0.7^\circ$
 - Un angle de tangage de $\theta = 0.2^\circ$

Ces modifications de comportements induits par le chargement cumulé aérodynamique et hydrodynamique dans les situations d'équilibres obtenues par simulations restent modérées.

5 Conclusion

Les calculs réalisés dans cette étude définissent les polaires aérodynamiques et hydrodynamiques de l'élément de flaperon. Exploités dans un modèle d'évolution temporel, ces résultats permettent d'évaluer les situations d'équilibre et d'estimer les paramètres qui y sont associés.

Sous l'action d'un vent constant et suivant la situation initiale, il peut exister 2 positions d'équilibre stable de dérive pour l'élément : bord de fuite ou bord d'attaque face au vent. L'angle de dérive prend les valeurs de 18° ou 32° à gauche selon le cas avec des vitesses de dérive respectivement égales à 3.29 et 2.76% de la vitesse du vent incident. Les valeurs de ces angles et des rapports de vitesses sont indépendantes de la vitesse du vent.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

6 Annexe 1 : Calculs des positions d'équilibre en dérive sous l'action d'un vent constant

6.1 Principe

Les efforts aérodynamiques et hydrodynamiques ont été évalués séparément. Pour estimer les positions et les vitesses de dérive sous l'action du vent on réalise des simulations temporelles.

La dynamique du flaperon sera déterminée grâce à l'application du Principe fondamental de la dynamique au centre de volume de forme dans le repère mobile associé au flaperon (XYZ). Les 3 équations correspondantes sont données ci-dessous :

$$\begin{aligned} m(u' - rv) &= \sum F_x \\ m(v' + ru) &= \sum F_y \\ I_{zz}r' &= \sum M_z(\nabla_f) + Kr \end{aligned}$$

Où $\sum F_x$ est la somme des efforts sur l'axe X
 $\sum F_y$ est la somme des efforts sur l'axe Y
 $\sum M_z(\nabla_f)$ est la somme des moments autour de l'axe Z exprimée en ∇_f
 K est un terme d'amortissement en lacet qui permet de stabiliser la dynamique en rotation. Il a été fixé à $K = 60 \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-1}$

On se limite à 3 degrés de liberté : seuls les translations horizontales (X et Y) et les rotations dans le plan horizontal (autour de Z) sont libres.

6.2 Efforts et moments

On considère les efforts suivants :

- 1) Les efforts de masse prenant en compte l'eau incluse, c'est-à-dire que $m = \rho_{eau} \nabla_f = 264 \text{ kg}$
- 2) Les efforts inertiels. On estimera l'inertie I_{zz} autour de Z en faisant l'hypothèse que l'objet est un parallélépipède de dimensions $X=2.385\text{m}$, $Y=0.945\text{m}$ et $Z=0.299\text{m}$. Ces dimensions correspondent à l'enveloppe de la partie immergée. Ne s'intéressant qu'à la situation d'équilibre finale, Il n'est pas nécessaire d'estimer les inerties avec une grande précision. L'inertie autour de l'axe Z est donc estimée par : $I_{zz} = \frac{M}{12} (2.385^2 + 0.945^2) = 144 \text{ kg.m}^2$.
- 3) Les efforts d'amortissement en lacet, estimés arbitrairement (stabilisation).

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

On néglige les effets de masse ajoutées (ce qui n'est pas rigoureux mais reste acceptable car on ne s'intéresse qu'à l'équilibre stationnaire).

Les efforts et moments aérodynamiques et hydrodynamiques sont ceux obtenus par simulations.

Notons, pour un angle quelconque ε :

$C_{XA}(\varepsilon), C_{YA}(\varepsilon), C_{ZA}(\varepsilon)$ les coefficients d'efforts aérodynamiques issus de la polaire.

$C_{LA}(\varepsilon), C_{MA}(\varepsilon), C_{NA}(\varepsilon)$ les coefficients de moments aérodynamiques issus de la polaire.

$C_{XH}(\varepsilon), C_{YH}(\varepsilon), C_{ZH}(\varepsilon)$ les coefficients d'efforts hydrodynamiques issus de la polaire.

$C_{LH}(\varepsilon), C_{MH}(\varepsilon), C_{NH}(\varepsilon)$ les coefficients de moments hydrodynamiques issus de la polaire.

On rappelle dans le tableau ci-dessous les coefficients obtenus par simulation (voir paragraphe 4.3).

Angle ε °	AERO			HYDRO		
	$C_{XA}(\varepsilon)$	$C_{YA}(\varepsilon)$	$C_{ZA}(\varepsilon)$	$C_{XH}(\varepsilon)$	$C_{YH}(\varepsilon)$	$C_{NH}(\varepsilon)$
0	0.78167	-0.03950	-0.04971	0.46195	-0.11746	-0.03018
30	0.67301	0.79458	-0.22866	0.51725	0.67207	-0.13872
60	0.34634	1.54653	-0.34664	0.13169	1.37995	0.01633
90	-0.27981	1.78787	-0.07275	-0.26310	1.53001	0.13808
120	-0.78700	1.55735	0.15263	-0.37786	1.13483	0.26783
150	-0.47794	1.30169	0.17546	-0.91821	0.59009	0.10891
180	-0.49893	0.08758	0.05243	-0.65367	-0.03278	-0.07154
210	-0.49577	-1.77664	0.02081	-0.75599	-0.47812	-0.05381
240	0.06899	-4.65881	0.05986	-0.53416	-0.67662	-0.12861
270	0.28884	-4.79033	0.12536	-0.28096	-0.98818	0.05049
300	0.41509	-4.78351	0.45962	0.18118	-1.35523	0.08183
330	0.98827	-1.98243	0.21016	0.49376	-0.94583	0.03188

Figure 25 - Résumé des simulations aéro et hydro.

Les angles seront conservés entre $[0, 360^\circ]$ en utilisant le modulo 360. Par exemple $C_{XA}(\varepsilon)$ devient $C_{XA}(\text{mod}[\varepsilon, 360])$.

On définit :

- $\vec{V}$ le vecteur vitesse du flaperon
- u la vitesse longitudinale (projection de V sur l'axe X associé au flaperon)
- v la vitesse transversale (projection de V sur l'axe Y associé au flaperon)
- r la vitesse de rotation autour de Z
- ψ le cap du flaperon

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

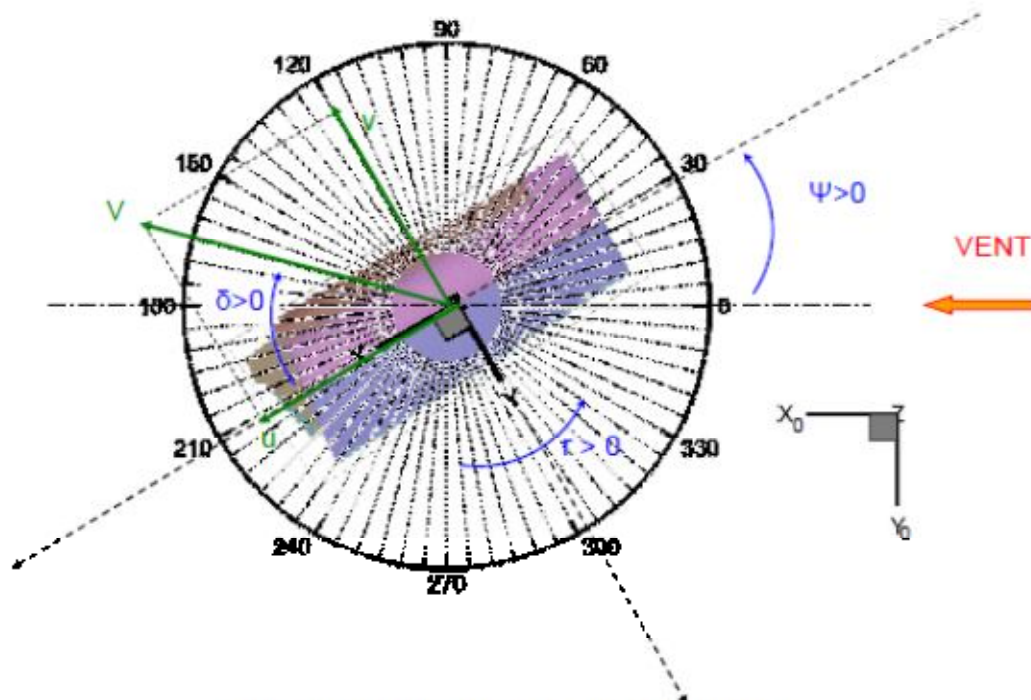


Figure 26 - Définition des repères - simulations temporelles

Les termes d'efforts et de moments aérodynamiques dans le repère mobile associé au flaperon seront calculés à partir du cap ψ du flaperon (voir Figure 26) :

$$F_{XA} = \frac{1}{2} \rho^{air} A_{ref}^{air} V_A^2 \cdot C_{XA}(-\psi) \quad \text{sur X}$$

$$F_{YA} = \frac{1}{2} \rho^{air} A_{ref}^{air} V_A^2 \cdot C_{YA}(-\psi) \quad \text{sur Y}$$

$$M_{XA} = \frac{1}{2} \rho^{air} A_{ref}^{air} L_{ref} V_A^2 \cdot C_{LA}(-\psi) \quad \text{autour de Z}$$

« A » en indice fait référence à une composante aérodynamique

« A_{ref}^{air} » représente la surface de référence aéro

« V_A » est la vitesse du vent

« ψ » est le cap du flaperon

On fera en sorte que $-\psi$ soit toujours compris entre 0° et 360° .

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

Les termes d'efforts et de moments hydrodynamiques dans le repère associé au flaperon seront calculés à partir des polaires hydrodynamiques. On doit ici prendre en compte la dérive δ de l'objet dans l'eau.

La dérive est donnée suivant :

$$\delta = a \tan 2 \left(-\frac{v}{u} \right)$$

où « atan2 » est l'arc-tangente signé qui permet de couvrir la plage $[-\pi, +\pi]$

Un coefficient d'effort pour une dérive δ vaut donc par exemple en X : $C_{XH}(\pi + \delta)$

Les termes d'efforts et de moments hydrodynamiques sont donc de la forme

$$F_{XH} = \frac{1}{2} \rho^{eau} A_{ref}^{eau} V^2 C_{XH} \left[\pi - a \tan 2 \left(-\frac{v}{u} \right) \right] \quad \text{sur X}$$

$$F_{YH} = \frac{1}{2} \rho^{eau} A_{ref}^{eau} V^2 C_{YH} \left[\pi - a \tan 2 \left(-\frac{v}{u} \right) \right] \quad \text{sur Y}$$

$$M_{XH} = \frac{1}{2} \rho^{eau} A_{ref}^{eau} L_{ref} V^2 C_{NH} \left[\pi - a \tan 2 \left(-\frac{v}{u} \right) \right] \quad \text{autour de Z}$$

« H » en indice fait référence à une composante hydrodynamique

« A_{ref}^{eau} » représente la surface de référence hydro

« V » est la vitesse du flaperon

« ψ » est le cap du flaperon

Etant donnée la faible dépendance des coefficients de traînée au nombre de Reynolds, c'est-à-dire aux vitesses d'écoulements, les coefficients de la Figure 25 sont utilisés pour toutes les vitesses aérodynamiques et hydrodynamiques.

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

6.3 Simulation temporelle : cap initial $\psi_0 = 10^\circ$ - Equilibre n°1

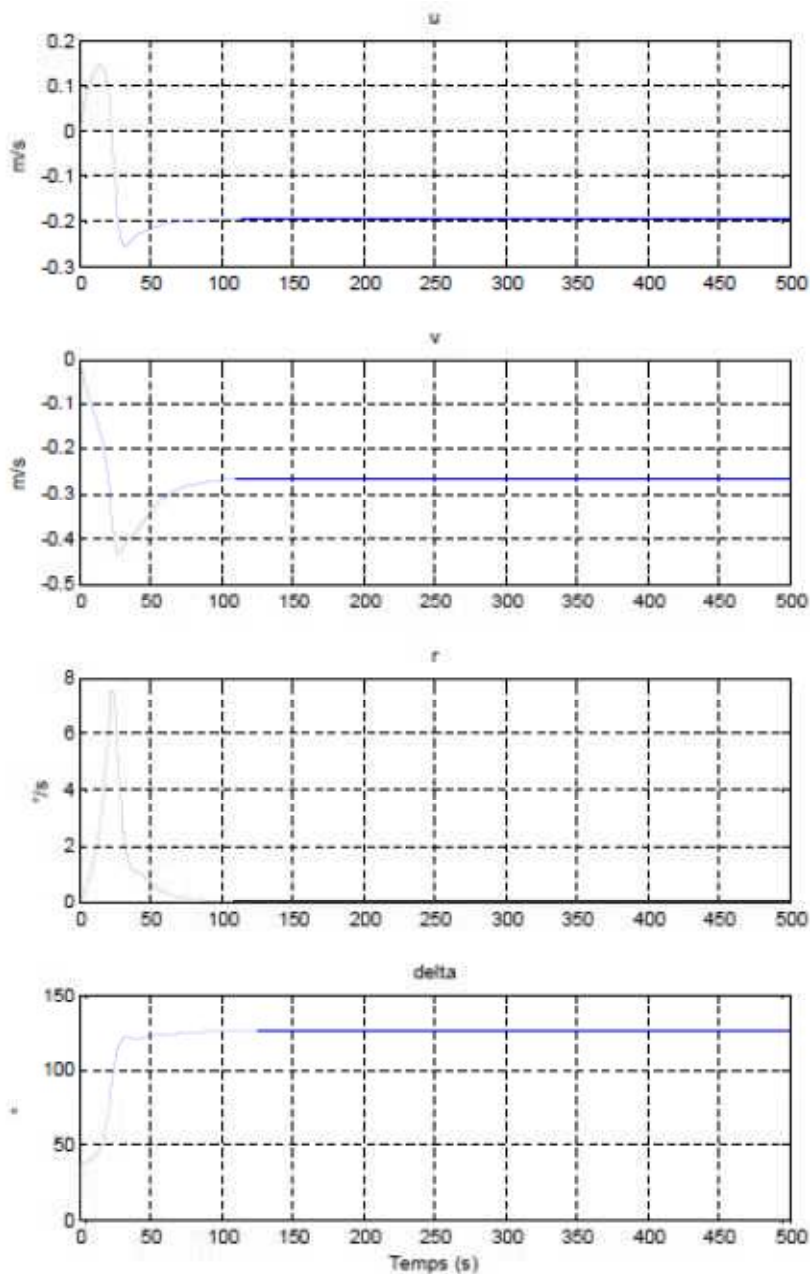


Figure 27 - Vitesses u et v – Vitesse de rotation r – Dérive δ

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

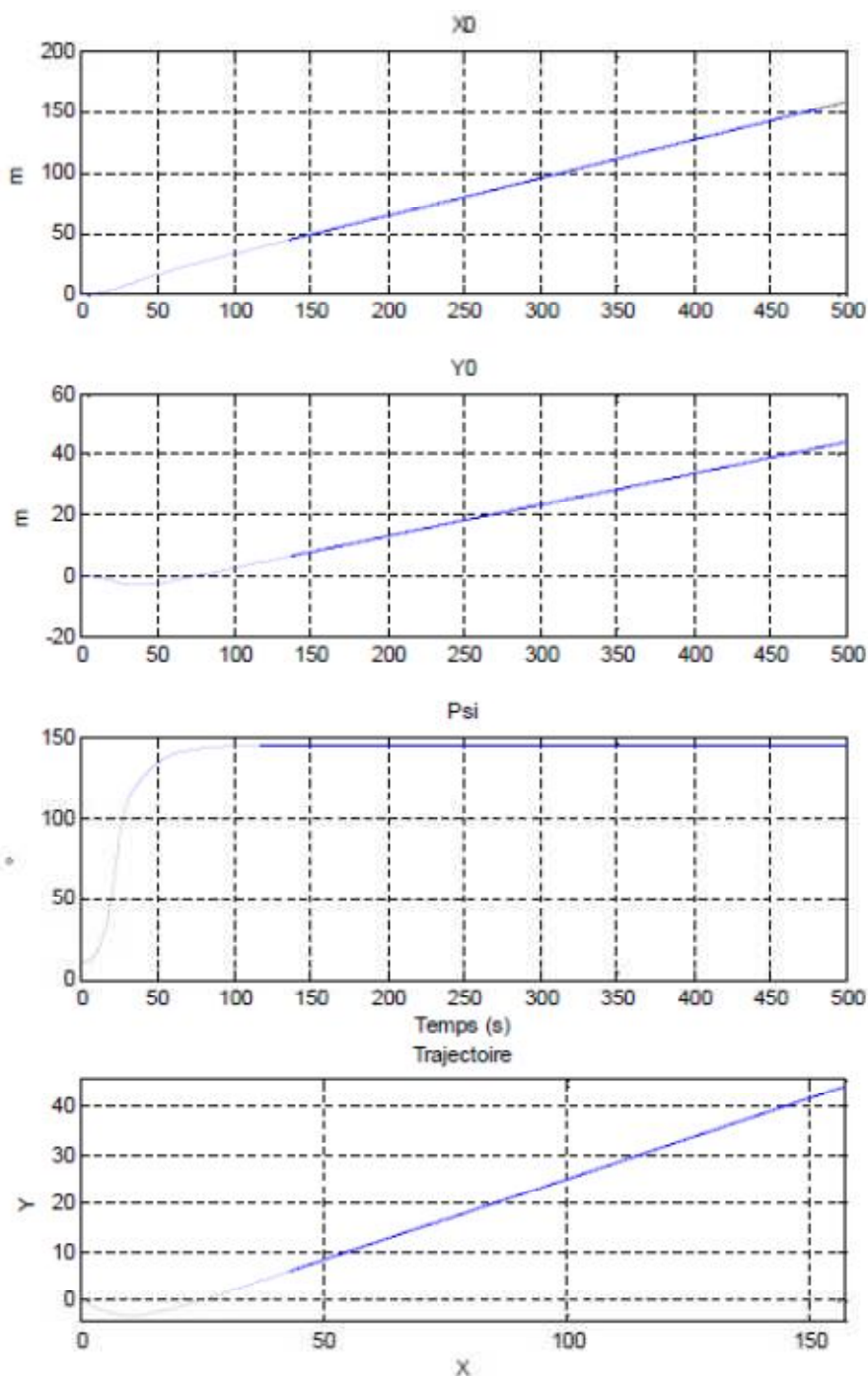


Figure 28 - Positions et cap

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

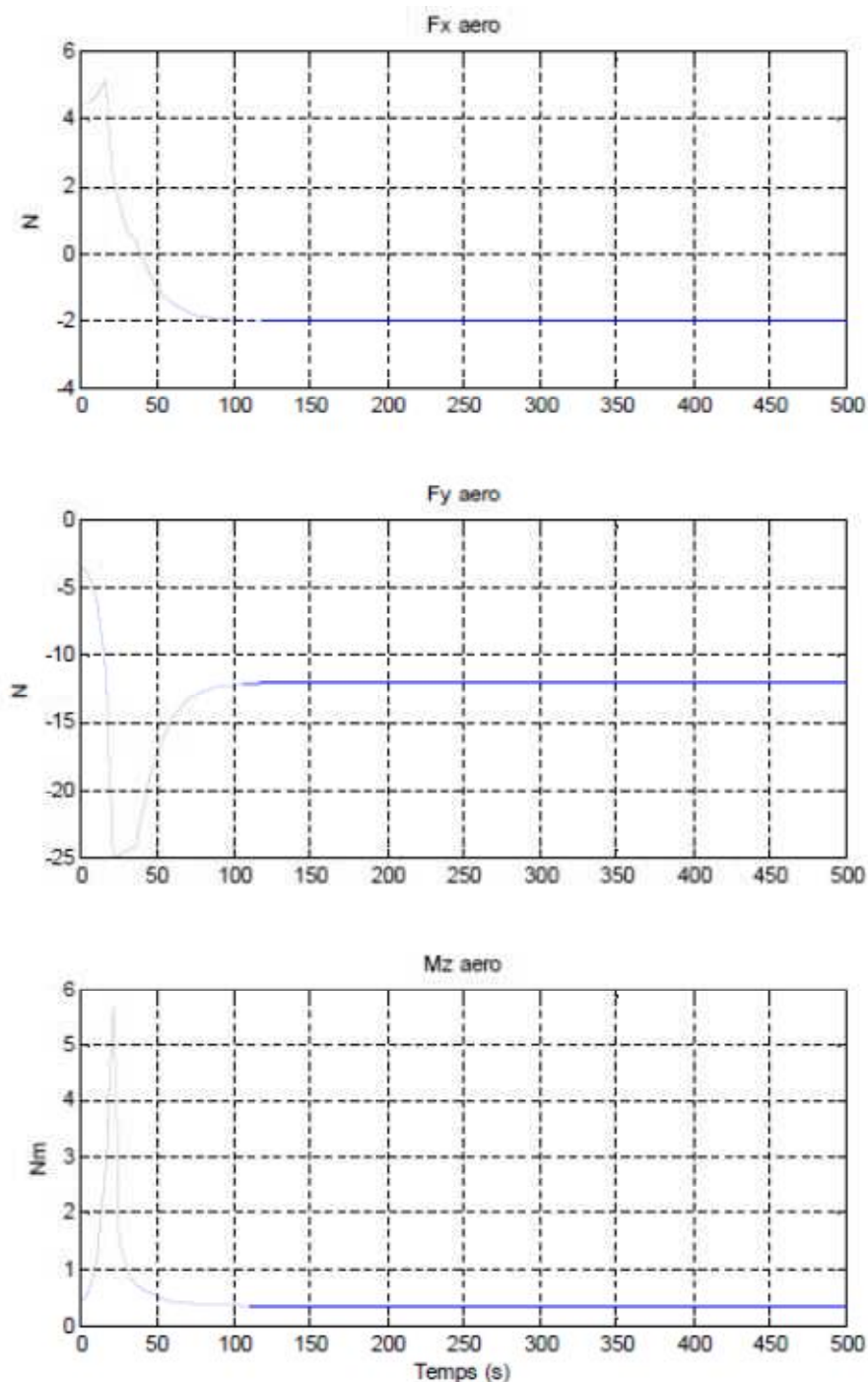


Figure 29 - Efforts et moments aérodynamiques

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

6.4 Simulation temporelle : cap initial $\psi_0 = 180^\circ$ - Equilibre n°2

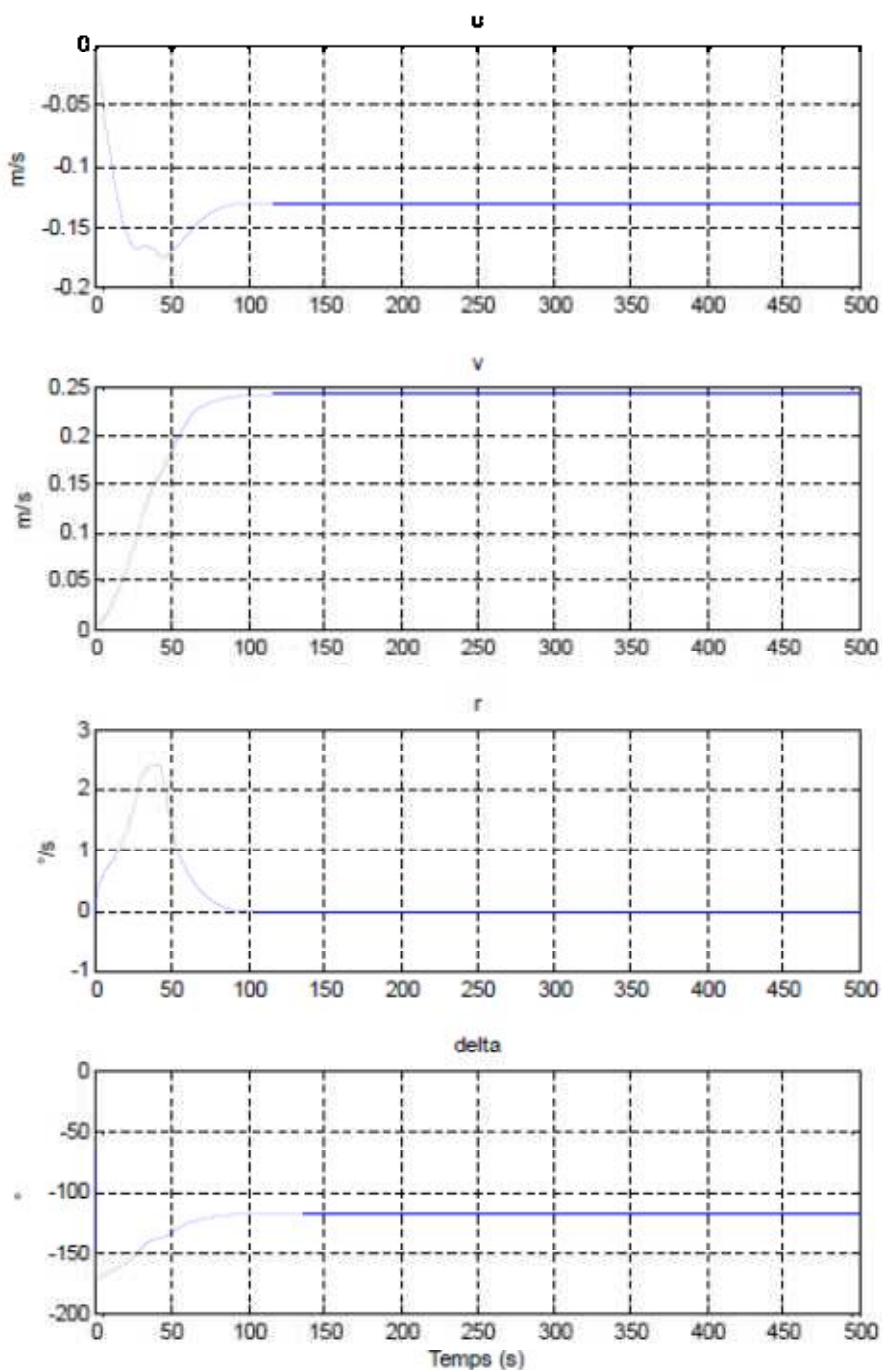


Figure 30 - Vitesses u et v - Vitesse de rotation r - Dérive δ

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

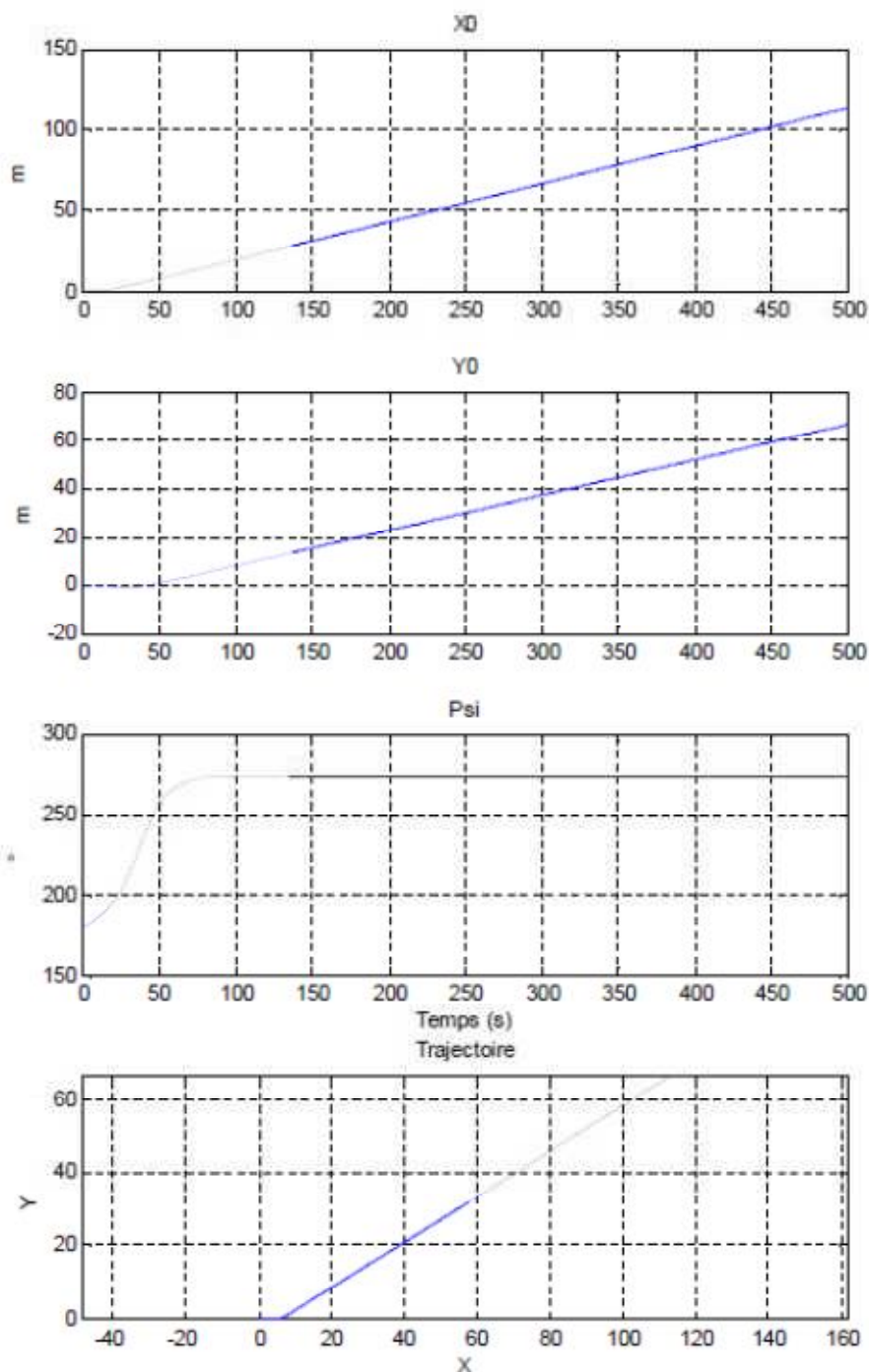


Figure 31 - Positions et cap

DIFFUSION RESTREINTE

AFFAIRE N°E11374
Pièce N°3

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques
hydrodynamiques

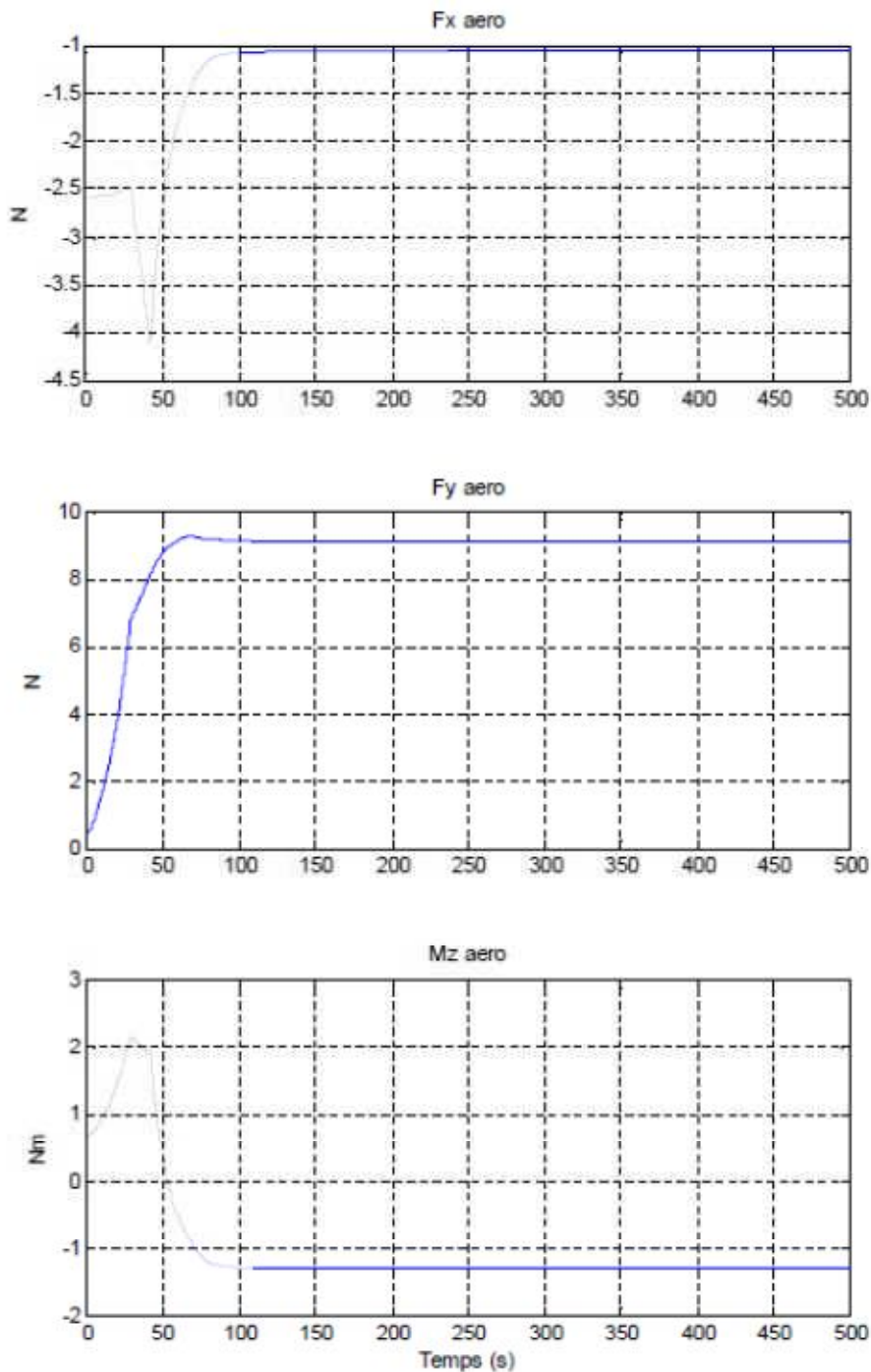


Figure 32 - Efforts et moments aérodynamiques

DIFFUSION RESTREINTE

Annexe 10 : Report of metrology on the two hinge fittings

Page 1/2

DGA Techniques Aéronautiques
Etablissement de Toulouse
Division « Ingénierie des moyens d'essai »
Section : Mesures en laboratoire
Affectation : IML

RAPPORT DE CONTROLE

N°L-71-2015

DESTINATAIRE(S) : BOTTIN ENTITE : MTI

CONTROLE EFFECTUE :

Mesures géométriques sur le flaperon du Boeing 777.

OPERATEURS : AZAM Patrick

DATE DU CONTROLE : 27/10/2015

DATE D'EMISSION : 04/11/2015

L'AGENT TECHNIQUE DE MESURE

Patrick AZAM

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques aéronautiques

Rapport de contrôle n° L-71-2015, page 2/9

FLAPERON

1. OBJET DU CONTROLE

Deux nervures du flaperon.

2. BUT DU CONTROLE

Détecter d'éventuelles torsions sur les chapes de reprises du flaperon.

2. MOYENS UTILISES

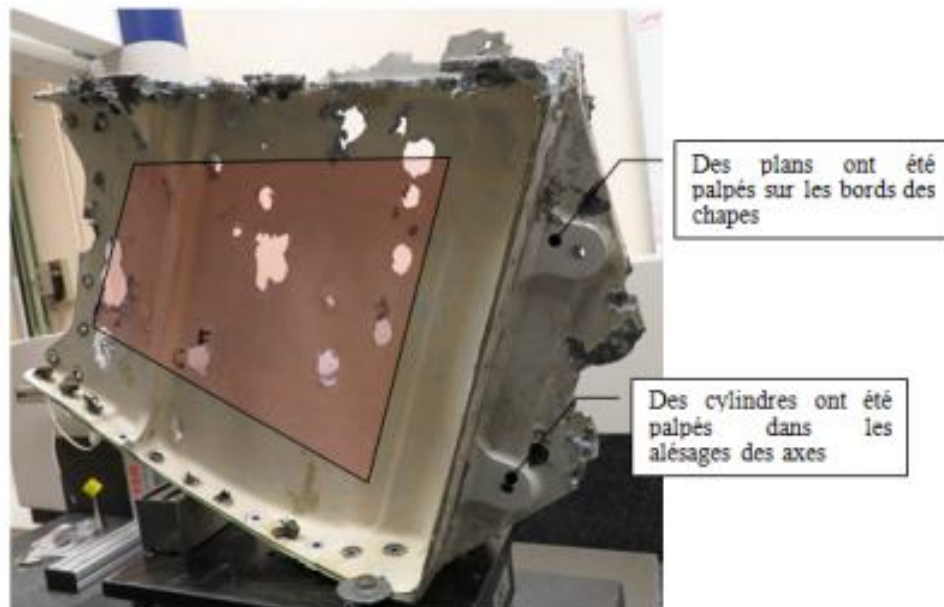
- M.M.T. Contura G2

4. INCERTITUDE DU MOYEN

$U = \pm 0.002 \text{ mm}$

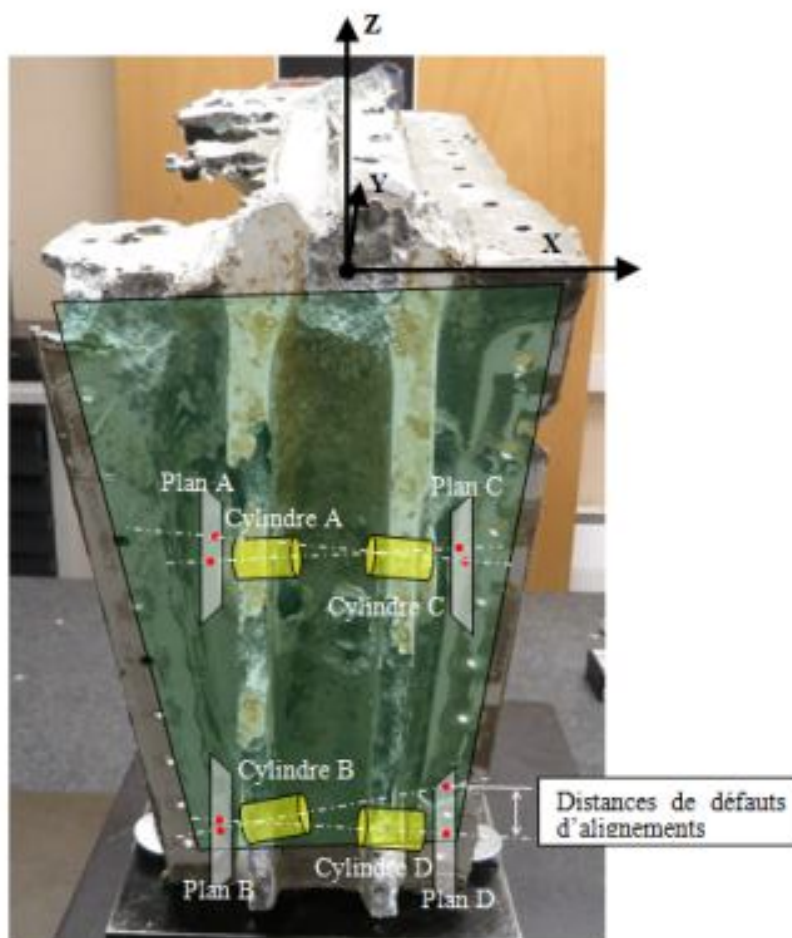
5. RESULTATS

Pièce I :



DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-71-2015, page 3/9



Méthode :

Le référentiel a été construit avec le plan rouge pour l'orientation de l'axe X. L'intersection du plan rouge et du plan vert forme la ligne qui donne l'orientation de l'axe Z autour de l'axe X.

L'orientation des plans et cylindres sont donnés sous forme d'angles dans le référentiel cité ci-dessus pour mettre en valeur les défauts d'alignements des cylindres, les défauts de perpendicularité des cylindres par rapport aux plans et l'orientation des plans dans le référentiel.

Les défauts d'alignements des cylindres sont représentés aussi par la distance des intersections des axes de cylindre avec les plans (points rouges).

DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-71-2015, page 4/9

Résultats :

Angles de plans :

Angles de la ligne perpendiculaire au plan A dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.2 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.13°

Angles de la ligne perpendiculaire au plan B dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.3 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.14°

Angles de la ligne perpendiculaire au plan C dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.12 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.1°

Angles de la ligne perpendiculaire au plan D dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.16 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.12°

Angles de cylindres :

Angles de l'axe du cylindre A dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.21 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.02°

Angles de l'axe du cylindre B dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.08 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.55°

Angles de l'axe du cylindre C dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.04 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.06°

Rapport de contrôle n° L-71-2015, page 5/9

Angles de l'axe du cylindre D dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.06 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : 0.11°

Distances de défaut d'alignement :

Plan A :

Distance de l'intersection du Cylindre C/plan A et l'intersection du cylindre A/plan A : 0.03 mm

Plan B :

Distance de l'intersection du Cylindre B/plan B et l'intersection du cylindre D/plan B : 0.19 mm

Plan C :

Distance de l'intersection du Cylindre C/plan C et l'intersection du cylindre A/plan C : 0.18 mm

Plan D :

Distance de l'intersection du Cylindre D/plan D et l'intersection du cylindre B/plan D : 0.48 mm

Si l'on accepte que le référentiel soit réaliste (problèmes d'orientations dues aux déformations et à la corrosion du Flaperon), l'ensemble des angles des plans et cylindres, sont pratiquement confondus avec l'axe X.

L'axe du cylindre B a plus d'angle que les autres et donc une plus grande distance entre intersections (plan D). Une répétabilité de mesures a été effectuée sur cet alésage et elle s'avère être bien plus mauvaise que pour les autres surement due à un défaut géométrique du cylindre (corrosion, déformation). Il en découle une incertitude de mesure plus élargie.

DIFFUSION RESTREINTE

Rapport de contrôle n° L-71-2015, page 6/9

Pièce II :



Rapport de contrôle n° L-71-2015, page 7/9

Méthode :

Le référentiel a été construit avec le plan rouge pour l'orientation de l'axe X. L'intersection du plan rouge et du plan vert forme la ligne qui donne l'orientation de l'axe Z autour de l'axe X.

L'orientation des plans et cylindres sont donnés sous forme d'angles dans le référentiel cité ci-dessus pour mettre en valeur les défauts d'alignements des cylindres, les défauts de perpendicularité des cylindres par rapport aux plans et l'orientation des plans dans le référentiel.

Les défauts d'alignements des cylindres sont représentés aussi par la distance des intersections des axes de cylindre avec les plans (points rouges).

Résultats :

Angles de plans :

Angles de la ligne perpendiculaire au plan A dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.08°

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.04°

Angles de la ligne perpendiculaire au plan B dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.15°

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : 0.02°

Angles de la ligne perpendiculaire au plan C dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.03°

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.02°

Angles de la ligne perpendiculaire au plan D dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.09°

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.06°

Rapport de contrôle n° L-71-2015, page 8/9

Angles de cylindres :

Angles de l'axe du cylindre A dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.19 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.18°

Angles de l'axe du cylindre B dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : 0.17 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.21°

Angles de l'axe du cylindre C dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : -0.07 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.04°

Angles de l'axe du cylindre D dans le référentiel pièce :

Rotation autour de l'axe Y de X- vers Z : -0.06 °

Rotation autour de l'axe Z de X- vers Y : -0.12°

Distances de défaut d'alignement :

Plan A :

Distance de l'intersection du Cylindre A/plan A et l'intersection du cylindre C/plan A : 0.31 mm

Plan B :

Distance de l'intersection du Cylindre B/plan B et l'intersection du cylindre D/plan B : 0.20 mm

Plan C :

Distance de l'intersection du Cylindre C/plan C et l'intersection du cylindre A/plan C : 0.05 mm

Plan D :

Distance de l'intersection du Cylindre D/plan D et l'intersection du cylindre B/plan D : 0.06 mm

Si l'on accepte que le référentiel soit réaliste (problèmes d'orientations dues aux déformations et à la corrosion du Flaperon), l'ensemble des angles des plans et cylindres, sont pratiquement confondus avec l'axe X.

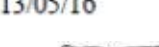
Rapport de contrôle n° L-71-2015, page 9/9

Les résultats des angles des axes des cylindres et les distances entre intersections semblent corrects mais sont peu crédibles en rapport avec la mauvaise répétabilité des mesures des alésages, due à un défaut géométrique du cylindre (corrosion, déformation). Il en découle une incertitude de mesure plus élargie. Seul le cylindre B a une bonne répétabilité. Mieux vaut se retourner sur les résultats angulaires des plans.

DIFFUSION RESTREINTE

Annexe 11 : Vérification of the compliance matière of the hinge fittings

MTA	Fiche d'analyses		N°:6-16	1/3	
-----	------------------	--	---------	-----	--

OT	P1501516001003				
Demandeur	S. BEN RHOUMA				
Programme					
Activité					
Travaux demandés objectif, contexte					
Bonjour, Analyse chimique élémentaire par fluorescence X de la ferrure du flaperon Boeing dans le cadre de l'enquête sur le MH370. L'objectif est de déterminer la nuance du flaperon sans trop de détérioration. Le flaperon est en alliage d'aluminium. Merci d'avance Cordialement,					
Documents d'entrées			Document de sortie		
			Rapport simplifié		
			Rapport d'essai et/ou d'expertise		
			☒ Fiche d'analyses MTA + compte rendu		
Spécimen, nature (état de surface), origine...		Flaperon Boeing Alliage d'aluminium			
Nombre de spécimens/ date mise à disposition :		1 ou 2			
Précautions particulières (échantillon, personnel)					
Prévision	Responsable prestation MTA	Demandeur	Réalisation	Responsable prestation MTA	Garant technique MTA
Nombre d'heures	2	Nom : DESSORS	Nom : BEN RHOUMA	Nom : DESSORS	Nom : Hakenholz
Fournitures		Date : 13/05/16	Date : 13/05/16	Date : 13/05/16	Date : 2/06/2016
Début des travaux	17/5/2016		17/5/2016		
Fin des travaux	19/5/2016		19/5/2016		

NOTA : informations italiques remplies avec le demandeur par le responsable

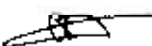
version : 02/2015

DIFFUSION RESTREINTE

MTA	Fiche d'analyses	N°:6-16	2/3
-----	------------------	---------	-----

Analyse	Mode opératoire	Devis (H)	Réalisé (H)	Responsable de l'analyse
FX		2	2	

Fin de réalisation des analyses :

Ecart	Validation (par le responsable de la prestation)
RAS	

Traitements/ destination des spécimens et reliquats après analyse	
☐ Destruction	Date de reprise spécimens et prélèvements par le demandeur : 17/5/2016
☐ Stockage local	
☐ Retour au demandeur	

NOTA : Zone grisée remplie avec le demandeur, zone blanche par MTA

version : 02/2015

DIFFUSION RESTREINTE

MTA

Fiche d'analyses

N° 6-16

3/3

1. GÉNÉRALITÉS

Il s'agit de déterminer la nuance de la ferrure du Flaperon Boeing, dans le cadre de l'enquête du MH370.

Afin d'endommager le moins possible la pièce, il a été choisi d'effectuer une analyse par fluorescence X.

2. RESULTATS DE L'ANALYSE

2.1. CONDITIONS OPERATOIRES

Les analyses ont été réalisées par spectrométrie de fluorescence des rayons X, au moyen du pistolet Thermo NITON XLt3, ceci afin d'identifier les principaux éléments présents.

Ces analyses réalisées avec le mode « Alliages » demeurent semi-quantitatives. En effet, tous les éléments ne sont pas détectés par l'appareil (éléments légers : gaz, C, S...) ou non dosables car non prévus dans l'étalonnage du spectromètre (Br...).

3 mesures ont été réalisées, sur des zones où le revêtement a été enlevé au préalable.
Chaque mesure a été réalisée sur 30 secondes.

2.2. RESULTATS DE L'ANALYSE

Tableau de résultats (en %) :

Alliage proposé	Echantillon	Zr	Zn	Cu	Fe	Al	Si	Mg
	ferrure flaperon	0,10	6,2	2,4	0,09	89	0,14	1,9

3. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Au vu des résultats obtenus l'alliage constitutif de l'élément analysé est proche de la nuance des aluminium de la série 7050 (suivant la norme NF EN 573-3), aux incertitudes de mesure près. On rappelle néanmoins que cette analyse est semi-quantitative et non destructive. Une analyse volumique quantitative par dissolution et analyse spectrométrique permettrait d'affirmer la nuance donnée ici à titre indicatif.

Annexe 12 : Questions posées à Boeing

The encadrés verts correspondent to the parts fournis détaillés in appendix 10. The encadrés rouges correspondent à une réponse partille (see appendix 10). Tout part non encadré n'a pas fait l'objet of réponse. The plans détaillés of the part n'ont donc pas été fournis this qui ne permet pas of perform the travaux of calculations of the poste 5.

BORDES Christophe IPETA

De: Koenig Alain <alain.koenig@gendarmerie.interieur.gouv.fr>
Envoyé: jeudi 11 février 2016 10:36
À: juliabenke@bredinprat.com
Cc: GAUDINO Alain; ROBINSON Emmanuelle; RAMET Carole; "Molé Philippe CNE (DLASSA SRTA PARIS-CHARLES-DE-GAULLE)"; Delannoy Simon-Pierre LCL (SRTA PARIS-CHARLES-DE-GAULLE); paul.chaudanson@gendarmerie.interieur.gouv.fr >> "Chaudanson Paul LCL (SRTA PARIS-CHARLES-DE-GAULLE)"; BORDES Christophe IPETA; Touquet Alain GND (DLASSA SRTA PARIS-CHARLES-DE-GAULLE); fr grangier
Objet: Demande de renseignements auprès de la société Boeing / SRTA PARIS CDG
Pièces jointes: alain_koenig.vcf

Bonjour maître

Faisant suite à notre entretien téléphonique et conformément aux besoins de l'enquête en cours et aux instructions reçues, nous sollicitons votre intervention auprès de la société Boeing.
Vous trouverez ci-après les questions en langues anglaise et française à transmettre à celle-ci.

En anglais :

Part number of the right hand side flaperon fitted on the B777 registered 9M-MRO.

The following data related to this part number :

Kinematic of the flaperon itself, with the max extended position and the non-extended position.

Drawings and schemes of the immediate environment of the flaperon (fittings, actuators, other flap linked or in contact to the flaperon...), the aim is there to understand the use of the flaperon, its kinematic linked to its environment, the types of stress in the different parts and the load paths.

Neighborhood of the flaperon so as to check if the findings on the flaperon such as bumps on the leading edge could be due to an impact on that parts.

Drawings of the flaperon part with structure detail design, panels composition (lay-up of composite, type of honeycomb, materials of the fitting) and materials properties. Load cases on the flaperon in normal use (Limit load cases in extreme positions might be enough) and location of the fuse area (strength of that fuse area would be valuable). These data are necessary to perform calculations that will be compared to scenarios of failure coming from the fractographic analyses.

The concessions on the part if any since we found repairs that are not on the data provided by Malaysia Airlines.

In french :

Le numéro d'identification du flaperon droit monté sur le Boeing 777 immatriculé 9M-MRO.

DIFFUSION RESTREINTE

DGA Techniques aéronautiques

Les données suivantes en lien avec ce numéro d'identification :

Cinématique du flaperon avec ses positions extrêmes (mouvement du flaperon d'une position vers l'autre).

Plans et schémas de l'environnement immédiat du flaperon (ferrures, actionneurs, autres commandes de vols liées ou au contact du flaperon...). Le but est ici de comprendre l'utilisation du flaperon, sa cinématique en lien ou non avec son environnement, le type de contraintes vues par les différentes pièces le constituant et les chemins d'efforts privilégiés, i.e. quels sont les éléments prépondérants pour la tenue structurale du flaperon.

Voisinage du flaperon pour vérifier que les dommages que nous avons constatés tels que les enfoncements sur le bord d'attaque sont dus à un impact sur une ou plusieurs de ces pièces.

Plan du flaperon contenant les détails de composition de sa structure (drapage des peaux composites, type de nid d'abeille, matériaux des ferrures) et les propriétés de chaque matériau. Cas de charge appliqués au flaperon en utilisation normale et localisation des éléments fusibles ainsi que leur tenue. Ces données permettront de réaliser des calculs qui seront ensuite comparés aux scénarios de rupture identifiés lors des analyses fractographiques.

Déroptions présentes sur la pièce s'il y en avait dans la mesure où nous avons trouvé des réparations non enregistrées par Malaysia Airlines.

Vous remerciant d'avance de l'intérêt que vous porterez à notre requête.

Bien cordialement

Alain Koenig



DIFFUSION RESTREINTE

Annexe 13 : Réponses of Boeing

- Réponse of the cabinet d'avocat by mail with two parts jointes -

BORDES Christophe IPETA

De: Koenig Alain <alain.koenig@gendarmerie.interieur.gouv.fr>
Envoyé: vendredi 18 mars 2016 15:00
À: GAUDINO Alain; ROBINSON Emmanuelle; RAMET Carole; PARIS-MULLER Gaelle; Delannoy Simon-Pierre LCL (SRTA PARIS-CHARLES-DE-GAULLE); paul.chaudanson@gendarmerie.interieur.gouv.fr > > "Chaudanson Paul LCL (SRTA PARIS-CHARLES-DE-GAULLE)"; "Molé Philippe CNE (DLASSA SRTA PARIS-CHARLES-DE-GAULLE)"; Chailloux Fabrice ADJ (DLASSA SRTA PARIS-CHARLES-DE-GAULLE); Touquet Alain GND (DLASSA SRTA PARIS-CHARLES-DE-GAULLE); BORDES Christophe IPETA; fr grangier
Objet: Affaire BOEING/MH370
Pièces jointes: 18.03.2016 - Réponse de Boeing aux demandes relatives au vol Malaysia Airlines 370.docx; 777 Flaperon.pptx; avertissement.txt; alain_koenig.vcf

Bonjour mesdames et messieurs

Voici la réponse de Boeing, via le cabinet d'avocat Bredin et Prat, qui nous est parvenue ce jour.
Bonne lecture

Bien cordialement

Alain KOENIG



----- Message original -----

Sujet:[Internet] RE: [Internet] RE: [Internet] Re: Affaire BOEING/MH370
Date :Fri, 18 Mar 2016 13:44:23 +0000
De :BENKE Julia <JuliaBENKE@bredinprat.com>
Pour :Koenig Alain' <alain.koenig@gendarmerie.interieur.gouv.fr>
Copie à :DEZEUZE Eric <ericdezeuze@bredinprat.com>

Cher Monsieur,

Comme discuté ce matin par téléphone, vous trouverez ci-joint la réponse de Boeing à vos demandes du 11 février dernier. Comme évoqué, la réponse en anglais est accompagnée d'une traduction en français.

Vous trouverez également ci-joint les schémas du flaperon et de son environnement.

Bien à vous,

Julia BENKE

DIFFUSION RESTREINTE

- *Eléments of réponse in the première part jointe* -

18 mars 2016

Réponse de Boeing aux demandes relatives au vol Malaysia Airlines 370

The specific makeup of the composite portions of the 777 flaperon is proprietary, confidential information. Speaking generally though, the composite portions of the skins, spars, and ribs in the flaperon are fabricated from Epoxy impregnated Standard Modulus (average modulus 32-35 MSI, and 540KSI minimum average strength) carbon fiber fabric, style 3K-70-PW. The resin content is 40% by weight and the cure temperature is 350°F.

With respect to the requests for kinematics and the surrounding parts, Boeing has prepared a PowerPoint presentation that contains images depicting the flaperon and some of the surrounding components. Some of these images depict the flaperon at different points in its range of motion. See *777 Flaperon.ppt*.

Finally, Boeing is unaware of any repairs that may have been made by Malaysia Airlines during its operation of the aircraft. Boeing therefore does not have any information responsive to the last category of request.

Les éléments relatifs à la composition précise des parties composites du flaperon 777 constituent des renseignements commerciaux confidentiels. Toutefois, de manière générale, les parties composites des peaux (revêtements), longerons et nervures du flaperon sont fabriquées à partir de Standard Modulus imprégné d'Epoxy (modulus moyen 32-35 MSI, et 540KSI force moyenne minimum), tissu de fibre de carbone, style 3K-70-PW. La teneur en résine est de 40% en poids et la température de cuisson est de 350°F.

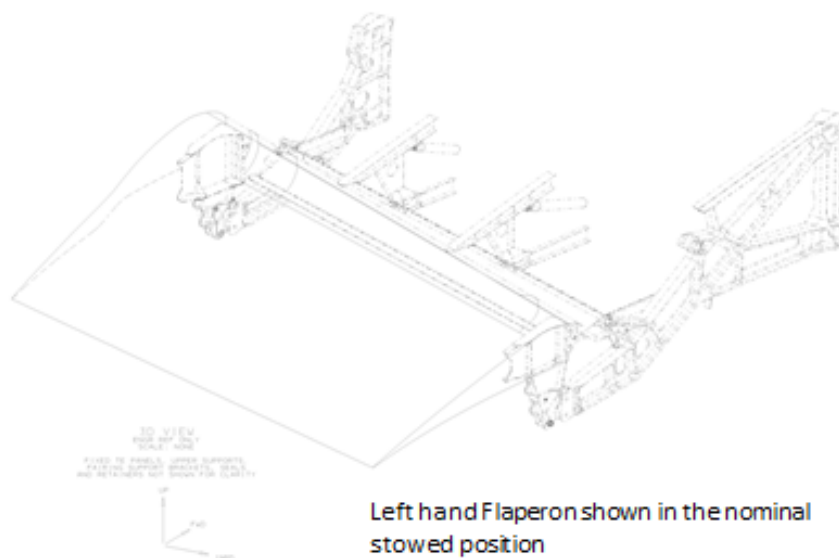
S'agissant des demandes relatives aux cinématiques et parties environnantes, Boeing a préparé un document Powerpoint qui contient les schémas représentant le flaperon ainsi que certains éléments environnants. Certains schémas représentent le flaperon à différents moments de son amplitude de mouvements. Voir le document Powerpoint « 777 flaperon » ci-joint.

Enfin, Boeing n'a connaissance d'aucune réparation qui aurait pu être faite par Malaysia Airlines au cours de son exploitation de l'avion. Par conséquent, Boeing n'a malheureusement aucune information en réponse à la dernière question à ce sujet.

DIFFUSION RESTREINTE

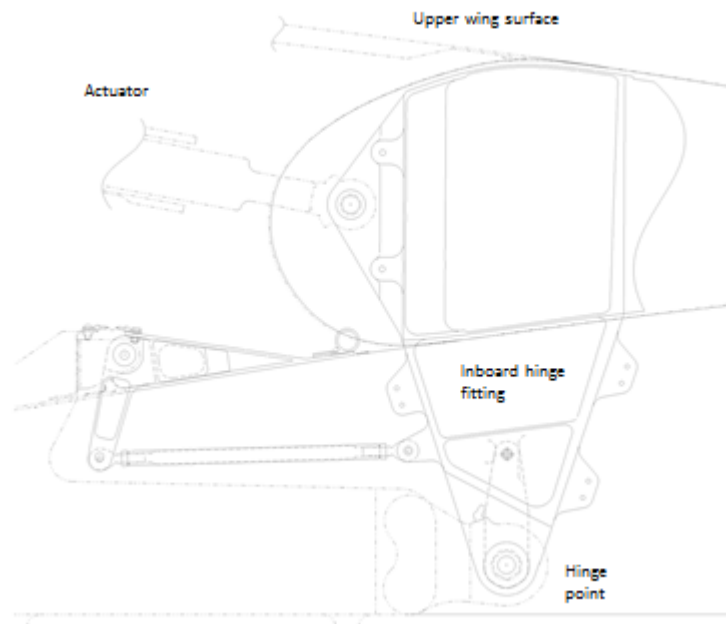
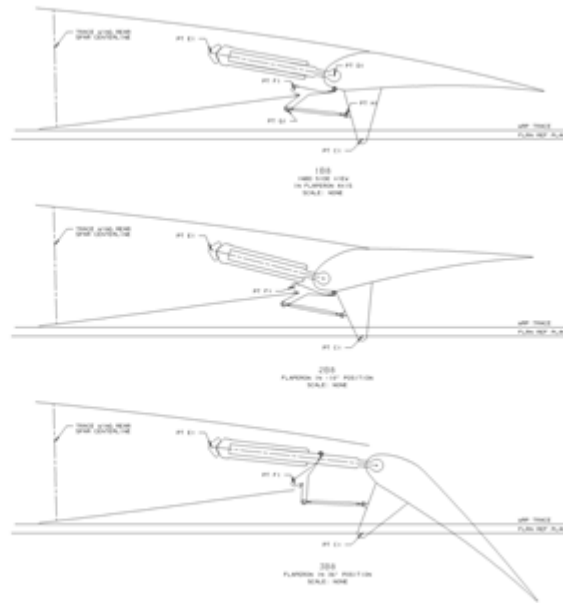
- Eléments of réponse in the deuxième part jointe -

777 Flaperon

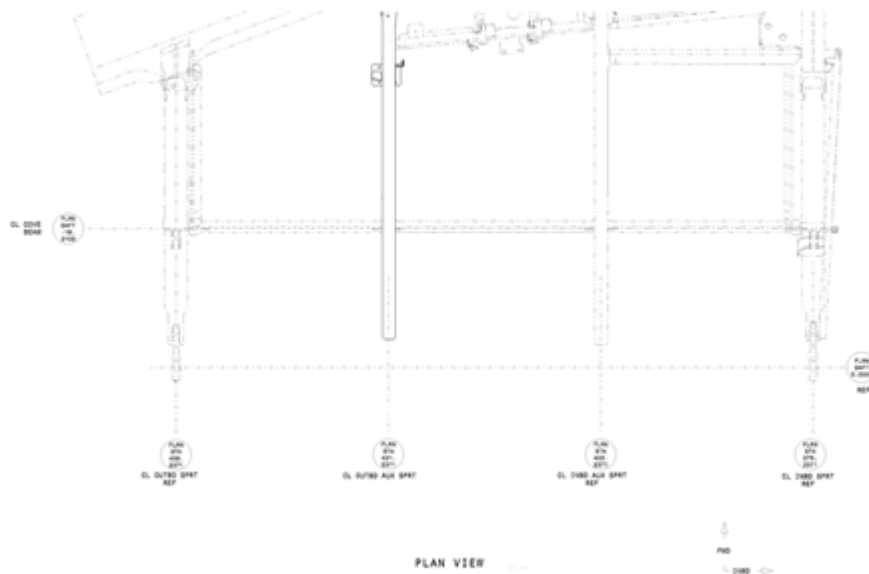


DIFFUSION RESTREINTE

Flaperon range of motion.
Upper section cut through
the inboard actuator rib in
the stowed position. Middle
cut with flaperon full trailing
edge up. Lower cut with
flaperon full trailing edge
down.



DIFFUSION RESTREINTE



Left Wing upper fixed panel support structure forward of flaperon. Right hand opposite.

DIFFUSION RESTREINTE