

Bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État

Rapport d'enquête de sécurité



C-2020-08-1

Date de l'évènement	16 juillet 2020
Lieu	Lherm (Haute-Garonne)
Type d'appareil	Integral R
Organisme	Aura Aero

AVERTISSEMENT

UTILISATION DU RAPPORT

Conformément à l'article L.1621-3 du code des transports, l'unique objectif de l'enquête de sécurité est la prévention des accidents et incidents sans détermination des fautes ou des responsabilités.

L'établissement des causes n'implique pas la détermination d'une responsabilité administrative civile ou pénale.

Dès lors, toute utilisation totale ou partielle du présent rapport à d'autres fins que son but de sécurité est contraire aux engagements internationaux de la France, à l'esprit des lois et des règlements et relève de la seule responsabilité de son utilisateur.

COMPOSITION DU RAPPORT

Les faits, utiles à la compréhension de l'évènement, sont exposés dans le premier chapitre du rapport. L'identification et l'analyse des causes de l'évènement font l'objet du deuxième chapitre. Le troisième chapitre tire les conclusions de cette analyse et présente les causes retenues.

Le BEA-É formule ses recommandations de sécurité dans le quatrième et dernier chapitre.

Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en heure légale française.

CRÉDITS

	Aura Aero	Page de garde
Figures 1 à 4	BEA-É	11 et 12
Figure 5	DGA TA et BEA-É	13
Figure 6	Aura Aero et BEA-É	13
Figures 7 et 8	BEA-É	14
Figure 9	AESA	16
Figure 10	Aura Aero et BEA-É	17
Figure 11	BEA-É	19
Figures 12 à 15	DGA TA et BEA-É	20 à 22
Figure 16	RESEDA et BEA-É	23
Figure 17	AESA	33

TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE	4
SYNOPSIS.....	5
1. Renseignements de base	7
1.1. Déroulement du vol.....	7
1.2. Dommages corporels.....	8
1.3. Dommages à l'aéronef	8
1.4. Autres dommages	8
1.5. Renseignements sur l'équipage.....	8
1.6. Renseignements sur l'aéronef.....	9
1.7. Conditions météorologiques	10
1.8. Aides à la navigation	10
1.9. Télécommunications	10
1.10. Renseignements sur l'aéroport	10
1.11. Enregistreurs de bord.....	10
1.12. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'incident	11
1.13. Renseignements médicaux.....	15
1.14. Incendie.....	15
1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours	15
1.16. Essais et recherches	15
1.17. Renseignements sur les organismes.....	15
1.18. Renseignements supplémentaires	16
2. Analyse.....	19
2.1. Expertises techniques.....	19
2.2. Recherche des causes de l'évènement.....	24
3. Conclusion	29
3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement	29
3.2. Causes de l'évènement	29
4. Recommandations de sécurité	31
4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement	31
4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement	31
ANNEXES.....	32

GLOSSAIRE

AESA	Agence de l'union européenne pour la sécurité aérienne
CDB	Commandant de bord
daN	décaNewton
DGA EV	Direction générale de l'armement Essais en vol
DGA TA	Direction générale de l'armement Techniques aéronautiques
EFIS	<i>Electronic flight instrument system</i> , système électronique d'instrumentation de vol
ft	<i>Feet</i> , pieds (1 ft vaut 0,3048 m)
hPa	hectoPascal
kt	<i>Knots</i> , nœuds (1 kt vaut 1,852 km/h)
RESEDA	Restitution des enregistreurs d'accidents

SYNOPSIS

Date et heure de l'évènement : 16 juillet 2020 à 16h58

Lieu de l'évènement : Lherm (Haute-Garonne)

Organisme : Aura Aero

Aéronef : Integral R immatriculé F-WJMK

Nature du vol : vol d'essais avec ouverture de domaine en vitesse

Nombre de personnes à bord : 2

Résumé de l'évènement selon les premiers éléments recueillis

Le jeudi 16 juillet 2020, le prototype Integral R décolle de l'aéroport de Toulouse Franczal pour effectuer un vol de développement avec ouverture de domaine en vitesse de 260 à 300 km/h suivi d'une mise en place à Muret. L'équipage est composé de deux pilotes d'essais. En atteignant la vitesse de 295 km/h, la verrière s'arrache subitement. Le copilote constate que l'avion est en fort piquer et que le pilote en fonction est blessé. Il prend les commandes et parvient à poser l'Integral R quelques minutes plus tard à Muret. Le pilote commandant de bord est légèrement blessé. L'aéronef est endommagé.

Composition du groupe d'enquête de sécurité

- un directeur d'enquête de sécurité du bureau enquêtes accidents pour la sécurité de l'aéronautique d'État (BEA-É) ;
- un enquêteur de première information (EPI) ;
- un pilote ayant une expertise sur les essais en vol ;
- un ingénieur ayant une expertise sur les programmes de développement aéronautique et la certification ;
- un ingénieur ayant une expertise sur les matériaux de structure d'aéronef.

Autres experts consultés

- un enquêteur du bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA) ayant une expertise sur les constructions aéronautiques en bois ;
- direction générale de l'armement - Essais propulseurs (DGA EP)/restitution des enregistreurs d'accidents (RESEDA) ;
- direction générale de l'armement - Essais en vol ;
- direction générale de l'armement - Techniques aéronautiques (DGA TA) ;
- Météo-France.

PAS DE TEXTE

1. RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1. Déroulement du vol

1.1.1. Mission

Type de vol : CAG VFR¹ (sans plan de vol)

Type de mission : vol d'essais avec ouverture de domaine en vitesse

Dernier point de départ : aéroport de Toulouse Francazal (LFBF)

Heure de départ : 16h50

Point d'atterrissage prévu : aérodrome de Muret Lherm (LFBR)

1.1.2. Déroulement

1.1.2.1. Préparation du vol

Le vol de développement, programmé le jeudi 16 juillet 2020 après-midi, porte le numéro V007 et prévoit des décrochages, une calibration anémométrique et une ouverture de domaine en vitesse de 260 à 300 km/h. Ce vol doit se terminer par une mise en place à Muret pour une délocalisation temporaire de la partie technique de la société Aura Aero, en raison de travaux à Francazal. En attente des essais vibratoires sur banc prévus ultérieurement, la limite de 300 km/h a été fixée provisoirement pour conserver une marge par rapport aux limites de vitesse maximale calculées lors de la conception.

Un CAP 10, avec à son bord un pilote et le président de la société Aura Aero, constructeur de l'Integral, est prévu pour suivre le vol d'essais.

Au regard d'un plafond nuageux inférieur à 5000 ft et d'une masse d'air estimée insuffisamment stable, les décrochages et la calibration sont reportés à un vol ultérieur. L'ouverture de domaine en vitesse et le convoyage sont maintenus.

1.1.2.2. Description du vol et des éléments qui ont conduit à l'évènement

L'équipage est composé de deux pilotes d'essais. Le commandant de bord (CDB), assis en place gauche, est le pilote en fonction. Le copilote est assis en place droite. Les deux pilotes sont équipés d'un casque semi-intégral avec une visière.

À 16h00 la patrouille constituée par l'Integral R et le CAP 10 roule pour le point d'arrêt de la piste 29 de Francazal. Le point fixe permet d'identifier un défaut sur le circuit d'allumage du moteur de l'Integral nécessitant un retour au parking pour une intervention technique. À l'issue du dépannage, la patrouille décolle de Francazal à 16h50 et transite vers le sud de Muret pour y débiter les essais.

1.1.2.3. Reconstitution de la partie significative de la trajectoire du vol

L'Integral R monte vers 2600 ft avant d'accélérer en descente pour réaliser les essais. Le comportement de l'avion est vérifié par pas de 20 km/h en commençant à 260 km/h, vitesse maximale précédemment validée. Un peu avant 16h58, atteignant 295 km/h, les pilotes perçoivent un violent claquement puis constatent l'arrachement de la verrière. Le temps de recouvrer ses esprits, le copilote en place droite, qui a perdu son casque, observe que l'avion est en fort piquer et que le pilote en fonction a du sang sur le visage. Il prend alors les commandes en remuant le manche. Le CDB, dont la prise micro du casque s'est par ailleurs débranchée durant l'incident, acquiesce du regard puis réduit la puissance² à la demande du copilote qui prend simultanément une assiette horizontale pour réduire souplement la vitesse.

Le CAP 10, qui avait été distancé pendant l'accélération en descente de l'Integral R, se rapproche de ce dernier. Après quelques échanges visuels entre les deux équipages, le CAP 10 dirige la patrouille vers l'aérodrome de Muret et annonce une situation d'urgence au contrôleur. L'Integral R se pose à 17h05 sur la piste 30 non revêtue. Le CAP 10 se pose un peu plus tard sur la piste 30 revêtue.

¹ CAG : circulation aérienne générale, VFR : *Visual Flight Rules* - règles de vol à vue.

² L'unique manette de puissance est positionnée à gauche, en cabine, le long du fuselage.

1.1.3. Localisation

- Lieu : Les Passets
 - pays : France
 - département : Haute-Garonne
 - commune : Lherm
 - coordonnées géographiques : 43°24'37'' N / 001°11'54'' E
 - altitude au moment de l'évènement : 1635 ft
- Moment : jour
- Aérodrome le plus proche au moment de l'évènement : Muret Lherm (LFBR)

1.2. Dommages corporels

Le pilote commandant de bord est légèrement blessé. Le copilote est indemne.

1.3. Dommages à l'aéronef

L'aéronef est légèrement endommagé.

1.4. Autres dommages

Sans objet.

1.5. Renseignements sur l'équipage

1.5.1. Commandant de bord

- Âge : 64 ans
- Employeur : société Aura Aero
- Fonction dans l'entreprise : pilote d'essais
- Formations :
 - qualifications : pilote de réception « avions » (1991), pilote d'essais d'avions (2002)
 - école de spécialisation : école du personnel navigant d'essais et de réceptions (EPNER)
- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Integral R	sur tout type	dont Integral R	sur tout type	dont Integral R
Total (h)	12 400	4	56	4	14	4
Dont essais	8 500	4	52	4	14	4

- Date du précédent vol comme pilote d'essais : 15 juillet 2020, sur Integral R
- Licence : CPL(A)³ avec qualification d'essais en vol de catégorie 2⁴

1.5.2. Copilote

- Âge : 63 ans
- Employeur : société Aura Aero
- Fonctions dans l'entreprise : chef des essais en vol et chef pilote
- Formations :
 - qualifications : pilote d'essais « avions » (1990), pilote d'essais expérimental d'avions (2007)
 - école de spécialisation : EPNER

³ CPL(A) : *commercial pilot license (aeroplane)* – licence de pilote professionnel (avion).

⁴ Les essais en vol sont classés en quatre catégories. Les privilèges d'une qualification de pilote d'essais de catégorie 1 sont les plus étendus et couvrent ceux d'une qualification de catégorie 2 (cf. § 1.18.1).

- Heures de vol comme pilote :

	Total		Dans le semestre écoulé		Dans les 30 derniers jours	
	sur tout type	dont Integral R	sur tout type	dont Integral R	sur tout type	dont Integral R
Total (h)	9 175	6	72	6	25	6
Dont essais	5 000	6	58	6	17	6

- Date du précédent vol comme pilote d'essais : 15 juillet 2020, sur Integral R
- Licence : ATPL(A)⁵ avec qualifications d'essais en vol de catégorie 1 et instructeur d'essais en vol

1.6. Renseignements sur l'aéronef

- Organisme : société Aura Aero
- Aérodrome de stationnement : Toulouse Francazal (LFBF)
- Type d'aéronef :

	Type-série	Numéro	Heures de vol totales
Cellule	Integral R	001	7 heures
Moteur	Lycoming AEIO-390-A3B6	L-865-80E	7 heures
Hélice	MT Propeller MTV-15-B-C/C193-25	190716	7 heures

1.6.1. Maintenance

Chaque vol d'essais est réalisé avec une configuration de l'avion qui est préalablement décrite dans l'ordre d'essais. Le cas échéant, le compte-rendu d'essais peut requérir une intervention technique. Les interventions techniques sont réalisées par du personnel expérimenté agréé par la société Aura Aero et sont répertoriées dans le carnet de bord de l'aéronef. À ce stade du développement, il n'existe pas de manuel de maintenance approuvé.

1.6.2. Performances

Les vitesses caractéristiques définies dans le programme d'essais en vol sont les suivantes :

Vitesse	VS (à 730 kg)	VA	VC	VNE	VD
CAS ⁶ en Km/h	97	300	300	390	432

VS, VA, VC, VNE et VD sont respectivement les vitesses de décrochage, de calcul en manœuvre, de calcul en croisière, à ne jamais dépasser et de calcul en piquer (cf. annexe 1).

Une limitation de vitesse à 300 km/h est fixée pour la première phase de développement, phase qui précède les essais vibratoires sur banc (GVT - *ground vibration test*).

1.6.3. Masse et centrage

Jusqu'à l'évènement, l'avion est dans le domaine de masse et de centrage prévu.

1.6.4. Carburant

- Type de carburant utilisé : essence aviation (AVGAS – *aviation gasoline*) 100LL
- Quantité de carburant au décollage : 105 litres
- Quantité de carburant au moment de l'évènement : 96 litres

⁵ ATPL(A) : *airline transport pilot license (aeroplane)* – licence de pilote de ligne (avion).

⁶ En toute rigueur, les vitesses de calcul sont des vitesses équivalentes (*equivalent air speed* - EAS). Dans le domaine de vol de l'Integral R, les corrections de compressibilité de l'air sont négligeables et l'EAS a été assimilée à la vitesse calibrée (*calibrated air speed* - CAS) qui est affichée par le système d'instrumentation électronique de vol (*electronic flight instrument system* – EFIS).

1.7. Conditions météorologiques

1.7.1. Prévisions

Les prévisions météorologiques pour l'aéroport de Toulouse-Blagnac réalisées à 13h00 prévoient des conditions stables de 14h00 jusqu'au lendemain 20h00 : un vent de secteur 310° pour 10 kt, une visibilité supérieure à 10 km et une couche nuageuse fragmentée à 3 500 ft.

1.7.2. Observations

La situation générale dans le secteur de Muret est sans changement dans l'après-midi. Les conditions sont anticycloniques de nord-ouest et la masse d'air est très humide entre 1 000 m et 1 500 m. La nébulosité est forte en cumulus et en stratocumulus d'étalement sous une inversion de température située vers 1 400 m.

À 14h00, le service d'information de vol d'aérodrome (AFIS) de Francazal annonce un vent de secteur 350° pour 11 kt, une visibilité supérieure à 10 km, un plafond fragmenté à 3 300 ft, une température de 20 °C et un QNH⁷ de 1 022 hPa.

À 17h00, la station automatique de l'aérodrome de Muret enregistre un vent de secteur 340° pour 9 kt, variable entre les secteurs 310° et 010°, une visibilité supérieure à 10 km, un plafond fragmenté à 3 100 ft et une couverture nuageuse à 4 000 ft.

1.8. Aides à la navigation

L'Integral R est doté d'un EFIS comportant un système de positionnement par satellite.

1.9. Télécommunications

L'Integral R est équipé d'une radio VHF⁸ incluant un interphone de bord entre les pilotes. Au moment de l'évènement, le poste radio est réglé sur la fréquence de la tour de contrôle de l'aérodrome de Muret Lherm.

1.10. Renseignements sur l'aéroport

L'aérodrome de Muret Lherm (LFBR) dispose de deux pistes parallèles à l'usage des avions : une piste revêtue de 1 100 x 30 m et une piste non revêtue de 825 x 50 m. Au moment de l'évènement, les services de contrôle d'aérodrome sont actifs.

1.11. Enregistreurs de bord

L'EFIS de l'Integral R enregistre les paramètres de vol usuels à une fréquence de 1 Hz (un enregistrement par seconde).

Certains vols de développement ont fait l'objet de l'installation d'équipements d'enregistrement complémentaires :

- l'enregistrement de la position des gouvernes (1 Hz) pour les vols V001, V004 et V006 ;
- des enregistrements vidéo par quatre caméras pour le vol V006.

Le vol V007 réalisé le jour de l'évènement ne fait pas l'objet de l'installation d'équipement d'enregistrement complémentaire.

⁷ Le QNH est la pression atmosphérique exprimée en hPa, convertie au niveau de la mer selon les conditions de l'atmosphère standard.

⁸ *Very High Frequency* – très haute fréquence.

1.12. Constatations sur l'aéronef et sur la zone de l'incident

1.12.1. Examen de l'aéronef

La verrière coulissante de l'Intégral est absente et le pare-brise est bien en place. Les six fixations des deux rails sur lesquels coulisse la verrière ont été arrachées.



Figure 1 : arrachement des inserts (rail droit)

Le téton de verrouillage de la verrière est déformé.



Figure 2 : déformation du téton de verrouillage

Le fuselage arrière présente de multiples petits éclats de peinture et deux perforations de la cellule sur son côté droit et en dessous.



Figure 3 : perforations de la cellule (vues de l'extérieur)



Figure 4 : perforations de la cellule (vues de l'intérieur)

Le casque du CDB, resté sur sa tête, présente des traces de choc.



Figure 5 : vue du casque du CDB

1.12.2. Examen de la zone de l'incident

Des débris de la verrière et le casque du copilote, éjecté hors de l'avion, ont été retrouvés dans la zone du lieu-dit « Les Passets » par une équipe de la société Aura Aero.

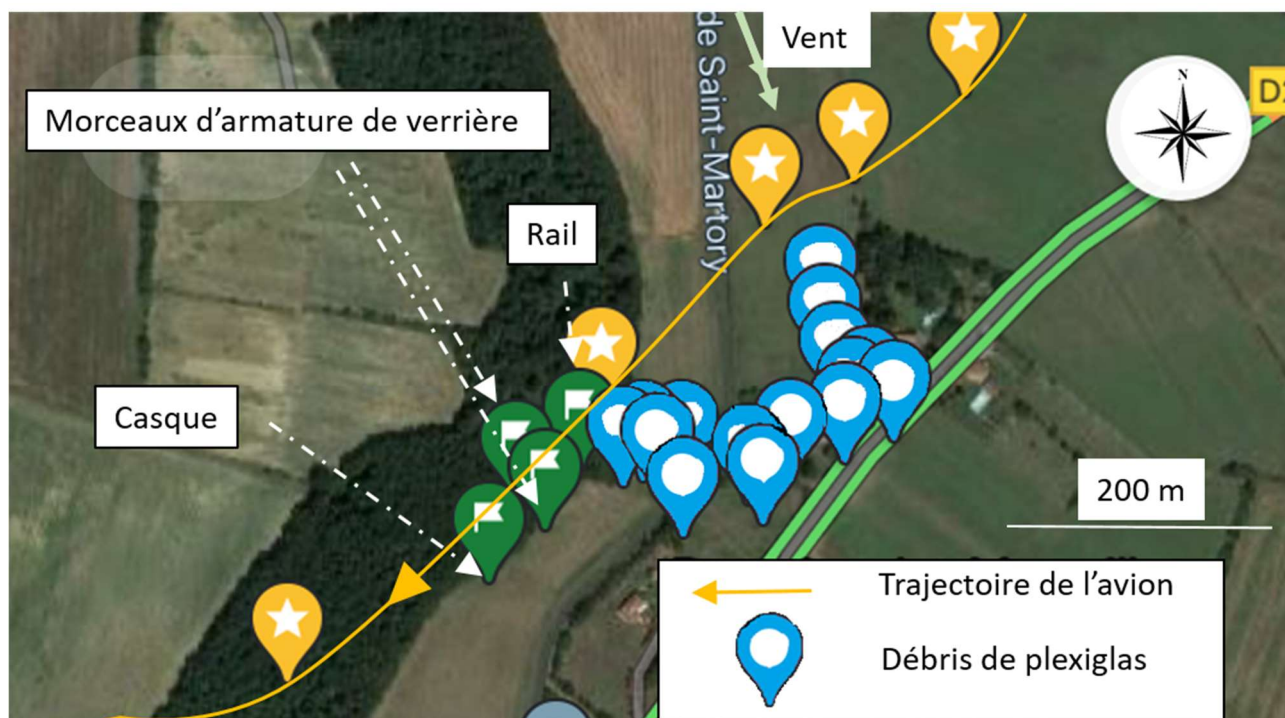


Figure 6 : cartographie des débris retrouvés

Les inserts servants à la fixation du rail sont solidaires du rail. Des fibres de bois y sont collées.



Figure 7 : débris de verrière et rail retrouvés

Le casque du copilote, retrouvé au sol, présente une trace de choc ; la jugulaire est fermée.



Figure 8 : casque du copilote

1.13. Renseignements médicaux

1.13.1. Commandant de bord

- Dernier examen médical : expertise au centre aéromédical de Toulouse, le 15 juillet 2020
 - type : classe 1⁹ et pilote essais/réception
 - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : légères

1.13.2. Copilote

- Dernier examen médical : expertise au centre aéromédical de Toulouse, le 17 juin 2020
 - type : classe 1 et pilote essais/réception
 - résultat : apte
- Examens biologiques : non effectués
- Blessures : aucunes

1.14. Incendie

Sans objet.

1.15. Questions relatives à la survie des occupants et à l'organisation des secours

L'avion étant pilotable, les pilotes excluent un abandon de bord. L'intervention des secours n'est pas sollicitée. Le pilote, légèrement blessé, n'a pas consulté de médecin dans les 48 heures qui ont suivi.

1.16. Essais et recherches

Les données de l'EFIS de l'Integral R ont été transmises à RESEDA pour une restitution du vol.

Les débris de la verrière, le rail droit, les inserts et les extraits du tasseau autour de ces inserts ont été confiés à DGA TA pour une étude des matériaux. Des techniques d'investigation des constructions aéronautiques en bois ont été apportées par un enquêteur du BEA.

Les casques ont été confiés à DGA TA pour une étude de la perte du casque du copilote.

Une étude des conditions de vol d'essais délivrées par l'agence de l'union européenne pour la sécurité aérienne (AES A) a été demandée à DGA EV.

Le BEA-É a réalisé une expertise sur les facteurs organisationnels et humains.

1.17. Renseignements sur les organismes

1.17.1. Société Aura Aero

Aura Aero est une société de construction aéronautique, créée en 2018, qui développe une famille d'avions biplaces conçue pour la voltige, l'entraînement des pilotes civils et militaires et les voyages d'agrément. La famille Integral de la société Aura Aero compte deux modèles, l'Integral R à train classique et l'Integral S à train tricycle. Ces deux modèles se caractérisent par l'utilisation d'un matériau composite, le bois-carbone.

1.17.2. Agence de l'union européenne pour la sécurité aérienne

L'AESA, située à Cologne (Allemagne), est entrée en fonction en septembre 2003. C'est l'autorité technique en charge de la définition des processus réglementaires et de la certification dans le domaine aéronautique.

⁹ Conforme à la Part-MED du règlement européen (UE) n° 1178/2011 du 3 novembre 2011 déterminant les exigences techniques et les procédures administratives applicables au personnel navigant de l'aviation civile conformément au règlement (CE) n° 216/2008 du Parlement européen et du Conseil européen.

1.18. Renseignements supplémentaires

1.18.1. Essais en vol

Les essais en vol se divisent en quatre catégories (cf. annexe 2). Les ouvertures de domaine relèvent de la catégorie 1.

Le niveau de compétence dont doivent disposer les pilotes et ingénieurs principaux d'essais en vol dépendent de l'aéronef et de la catégorie d'essais en vol (cf. figure 9). Pour un aéronef dont la masse maximale au décollage est inférieure à 2 000 kg, aucune compétence particulière en essais n'est exigée.

Aéronef	Catégories d'essais en vol			
	1	2	3	4
Avion de transport régional ou aéronef CS-23 dont la vitesse de conception en piqué (Md) est supérieure à 0,6 ou dont le plafond maximal est supérieur à 7 260 m (25 000 pieds), aéronef CS-25, CS-27, CS-29 ou aéronef répondant à d'autres codes de navigabilité équivalents	Niveau de compétence 1	Niveau de compétence 2	Niveau de compétence 3	Niveau de compétence 4
Autres aéronefs CS-23 dont la MTOM est supérieure ou égale à 2 000 kg	Niveau de compétence 2	Niveau de compétence 2	Niveau de compétence 3	Niveau de compétence 4

Figure 9 : niveau de compétence exigé en fonction de la catégorie d'essais et de l'aéronef

1.18.2. L'Integral R

En matière de performances, les avions de la famille Integral sont conçus pour tolérer des facteurs de charge élevés (+9/-9g¹⁰ en monoplace) permettant une activité intense en voltige. Ils se caractérisent également par une vitesse de croisière de 335 km/h, une autonomie de plus de 1000 km ainsi qu'une charge utile pouvant atteindre 330 kg. Une certification européenne CS-23 est recherchée dans un premier temps et sera complétée par une certification de la *federal aviation administration* (FAA, administration fédérale pour l'aviation) américaine.

En matière de conception et d'étude aérodynamique, le développement de l'Integral R a été réalisé sans s'appuyer sur une maquette de soufflerie ou une maquette radiocommandée de type modèle réduit volant. Cette pratique est fréquente pour le développement d'aéronef de cette taille. La conception s'appuie sur le retour d'expérience du dessinateur du CAP 232, des essais en soufflerie numérique pour obtenir des ordres de grandeur, puis des essais en vol.

D'une masse maximale au décollage de 950 kg (en catégorie normale), la réglementation n'exige des pilotes d'essais de l'Integral aucun niveau particulier de compétence d'essai en vol. Le personnel d'essais en vol de la société Aura Aero comprend quatre pilotes d'essais (trois de catégorie 1 et un de catégorie 2), deux pilotes privés (avec une forte expérience de voltige) et deux ingénieurs d'essais en vol.

Jusqu'à l'obtention d'un certificat de type, chaque vol est réalisé dans le cadre d'une autorisation délivrée par la direction générale de l'aviation civile (DGAC) sur la base de conditions de vol approuvées par l'AESA.

1.18.3. Verrière de l'Integral R

La verrière de l'avion Integral R est divisée en deux parties : le pare-brise et la verrière mobile. Le pare-brise et la verrière mobile sont constitués d'un polymère plastique collé sur un cadre en carbone. Le pare-brise est fixé à la partie bois du fuselage. La verrière mobile coulisse sur des rails latéraux fixés sur le fuselage par huit inserts filetés pour bois. Le système du mécanisme d'ouverture consiste en la translation de la verrière vers l'arrière dans la limite de la plage de longueur de voie (cf. figure 10).

¹⁰ Facteur de charge ou accélération verticale (1 g vaut 1 fois la pesanteur terrestre).

La section de cadre du pare-brise et l'avant de la verrière sont définis pour créer une forme d'assemblage lorsque les pièces sont en contact, verrière verrouillée.

Le verrouillage de la verrière se fait au moyen d'une poignée accessible dans ou hors de l'aéronef. La poignée est associée à un mécanisme de fixation de la verrière au cadre du pare-brise.

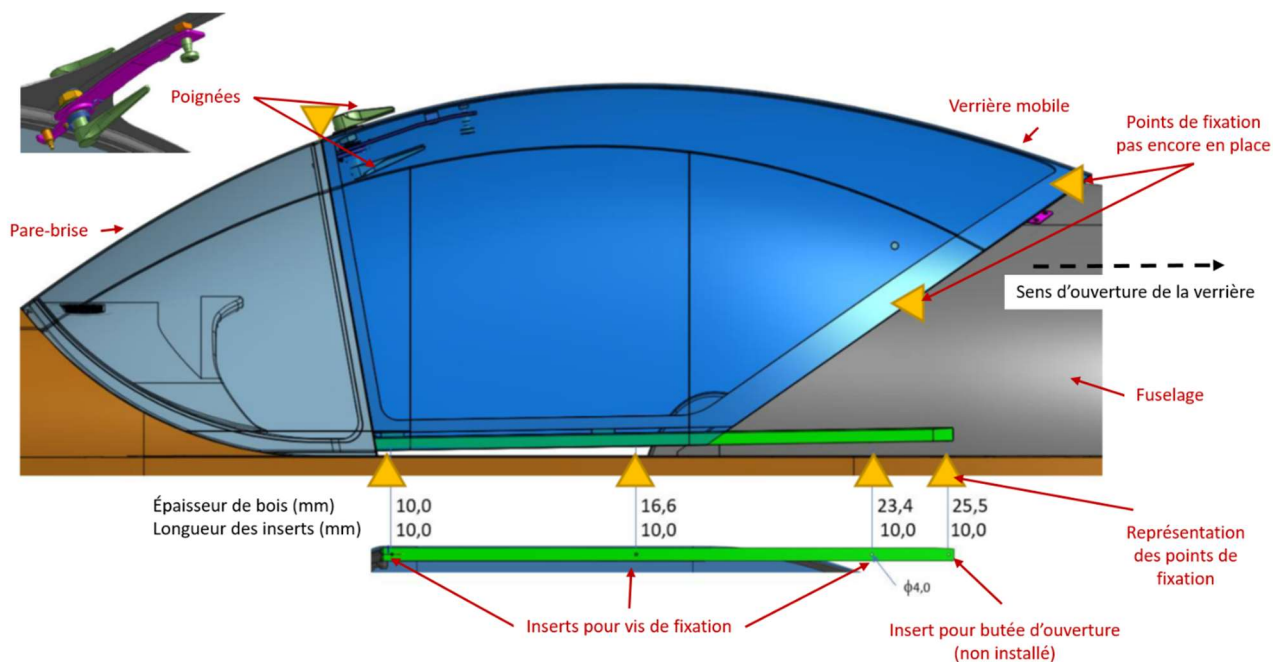


Figure 10 : schéma de la verrière de l'Intégral R

Les interfaces de fixation de la verrière sont :

- le mécanisme de verrouillage principal ;
- deux rails en aluminium pour soutenir les roulements ;
- les inserts dans les tasseaux en bois pour fixer les rails.

PAS DE TEXTE

2. ANALYSE

2.1. Expertises techniques

2.1.1. Expertise de l'avion et des débris de la verrière

Les endommagements causés par la verrière sur le fuselage indiquent que la verrière est passée à droite de l'aéronef après sa désolidarisation. Toutes les ruptures observées sur les arceaux de la verrière mobile sont dues à l'impact au sol. Les examens suivants s'attachent à déterminer les origines de la désolidarisation de la verrière.

2.1.1.1. Examen des tasseaux de fixation

Les tasseaux gauche et droit sont issus d'épicéa de Sitka (*Sitka spruce*). Le bois d'épicéa de Sitka est léger, doux, relativement résistant et flexible. Les deux tasseaux présentent des aspects similaires.

Les fibres du bois sont bien longitudinales dans la longueur des tasseaux et ne se torsadent pas au niveau des trous d'insert. Une faiblesse dans une partie du bois n'est pas la cause de l'arrachement des inserts.

Une perte de matière importante en arrière des trous des inserts avant témoigne d'un déplacement des inserts avant d'environ 10 mm vers l'arrière. En avant des trous des inserts arrière, le bois est endommagé.

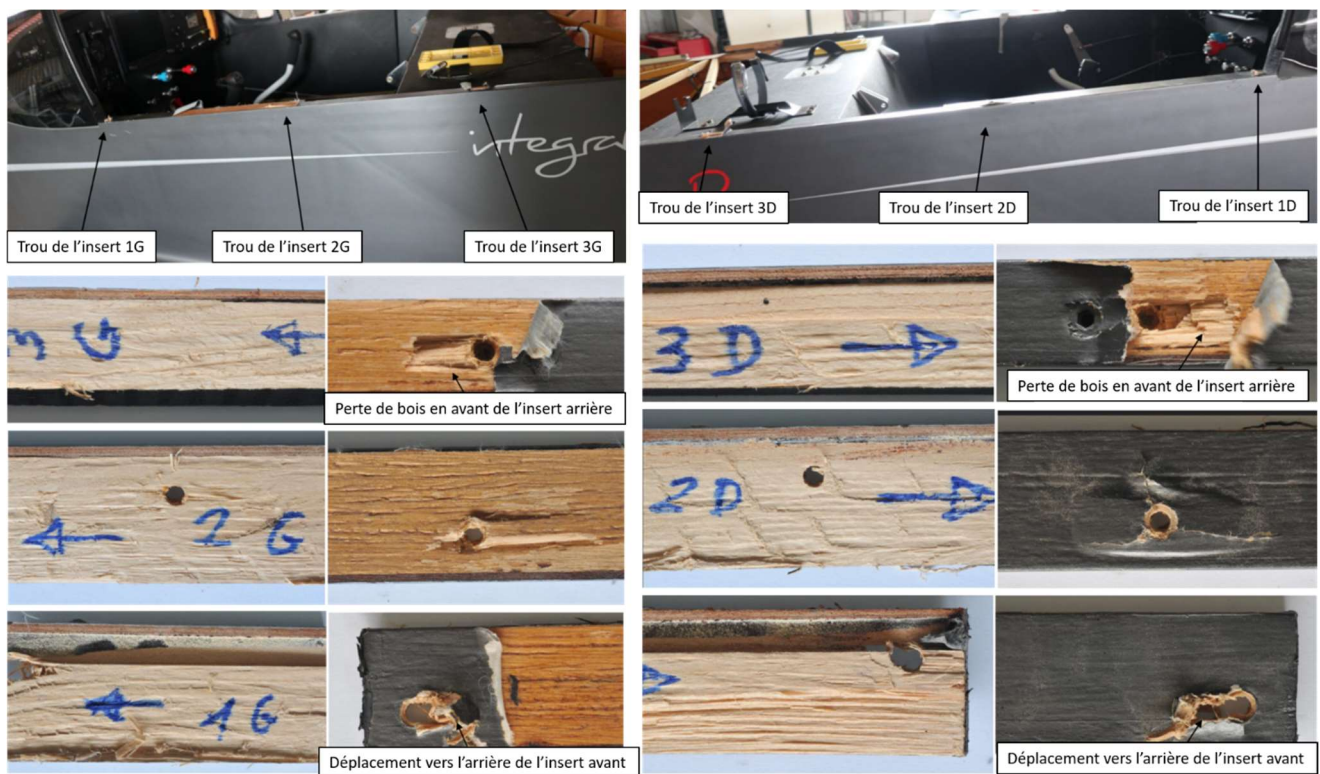


Figure 11 : vue des trous des inserts dans les tasseaux

Ces observations témoignent de l'arrachement dans un premier temps des inserts arrière, les derniers inserts à sortir des tasseaux étant les inserts avant. Ils ont marqué le bois sur 10 mm lorsque la verrière s'est désolidarisée totalement.

Sur les huit inserts prévus dans les tasseaux pour fixer le rail, les deux inserts les plus en arrière, permettant de créer une butée d'ouverture pour la verrière, ne sont pas présents.

La verrière s'est désolidarisée car les six inserts fixant les rails se sont arrachés des tasseaux en bois. Le bois ne présente pas de faiblesse de structure pouvant être à l'origine des arrachements.

2.1.1.2. Examen du rail de fixation

Le rail droit, retrouvé au sol, n'est pas déformé et les trois inserts sont toujours solidaires du rail. Les filets des inserts ne sont pas déformés et sont conformes à la documentation (6 mm de diamètre et 10 mm de filetage). Ainsi, l'arrachement est uniquement dû à la non tenue des inserts dans les tasseaux en bois.

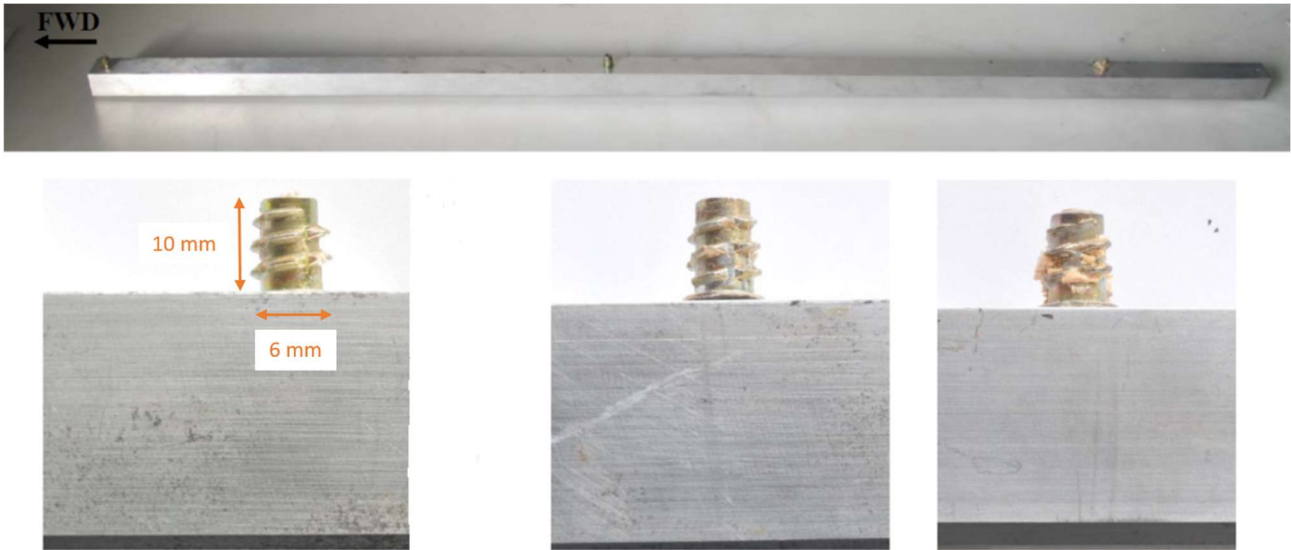


Figure 12 : vue des inserts de fixation du rail droit

Les inserts sont vissés sur le côté supérieur du tasseau.

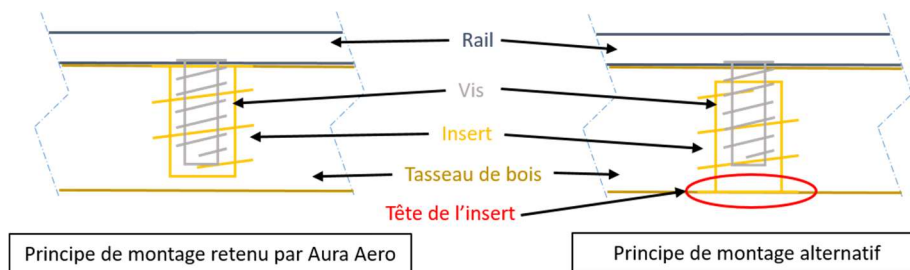


Figure 13 : schémas de montage de l'insert (sans échelle)

En vissant l'insert sur le côté supérieur du tasseau, sa tenue dans le tasseau repose uniquement sur le filetage. Une autre méthode consiste à visser l'insert sur le côté inférieur, les efforts supportés par l'insert sont alors également répartis sur la surface de contact de la tête de l'insert avec le tasseau. Ainsi, un effort reposant uniquement sur les filetages peut suffire à s'arracher. Les seuls efforts vers le haut pouvant contribuer à l'arrachement sont dus à l'écoulement aérodynamique de l'air sur la verrière. L'arrachement du rail est dû à un effort vers le haut supérieur à la tenue structurelle, en l'état des inserts présents dans le bois des tasseaux avec le seul filetage.

Seule la force aérodynamique appliquée sur la verrière est à l'origine de l'arrachement des inserts.

2.1.1.3. Examen du mécanisme de verrouillage

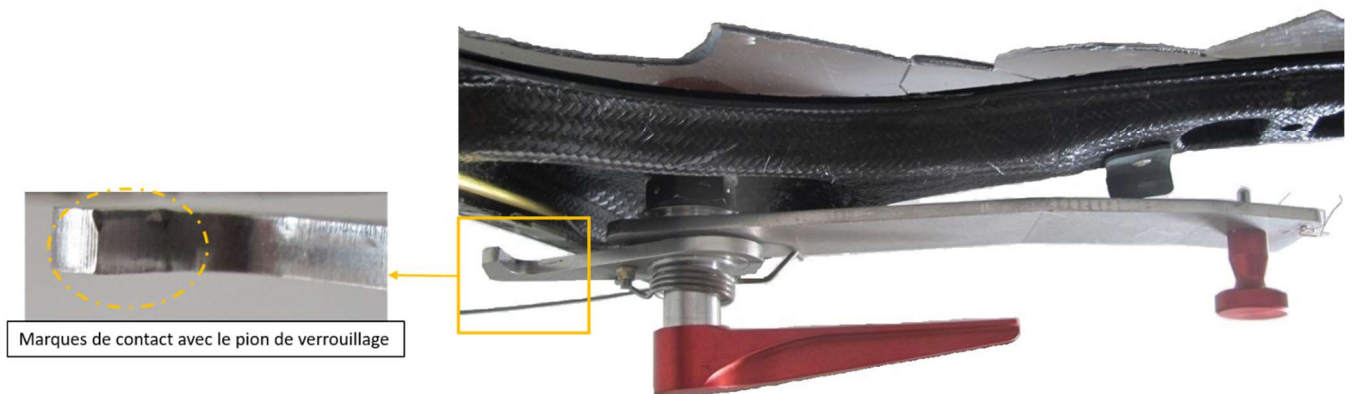


Figure 14 : vues du mécanisme de verrouillage

Le crochet du verrouillage principal a des marques de contact avec rebroussement de matière dues au contact avec le pion de verrouillage. Après l'arrachement des inserts, seul le pion de verrouillage retient la verrière mobile.

L'effort trop important a déformé le pion et endommagé le crochet jusqu'à l'éjection de la verrière.

2.1.2. Étude des différents points d'ancrage de la verrière

Dès la phase de développement, l'avion a été conçu pour être équipé d'un parachute de cellule. Ce dernier doit être inséré dans un logement prévu à cet effet à l'arrière du cockpit. Trois points d'ancrage de la verrière sont prévus au-dessus de ce logement mais ne sont pas encore installés à ce stade du développement. Ces points d'ancrage visent notamment à consolider la fixation de la verrière, à l'arrière du cockpit, dans une zone où des phénomènes de dépression sont attendus. Cependant, les calculs réalisés dans le cadre du développement prévoient un ancrage suffisant des rails avec six inserts, jusqu'à 300 km/h avec une marge de sécurité.

L'avion n'est pas encore équipé de trois points d'ancrage supplémentaires à l'arrière de la verrière.

2.1.3. Expertise du casque du copilote

Le casque du CDB a servi de comparaison avec le casque du copilote. Ces casques sont de type LH050 et disposent d'un cran de verrouillage de la jugulaire identique à celui du casque LA100. Les essais de qualification en soufflerie à rafale (*windblast*)¹¹ du LA100 ont démontré une résistance de la jugulaire à des efforts de portance extrêmement élevés (jusqu'à 100 daN).

L'expertise du casque du copilote amène aux conclusions suivantes :

- les cales en place dans le casque montrent que le copilote a configuré son casque en adéquation avec sa morphologie ;
- le casque est globalement peu abîmé. Les endommagements (rayures) se sont probablement produits à l'impact au sol ;
- la jugulaire, retrouvée attachée, est lâche et n'est pas abîmée. Elle n'a donc pas subi d'efforts importants, ce qui est cohérent avec l'absence de marque sur le cou et le visage du copilote ;
- il y a un très léger endommagement sur le système de fixation de la jugulaire qui peut rendre la fermeture un petit peu plus difficile. Il est difficile de savoir si cet endommagement était présent avant l'incident ou s'il est la conséquence de l'impact du casque avec le sol.

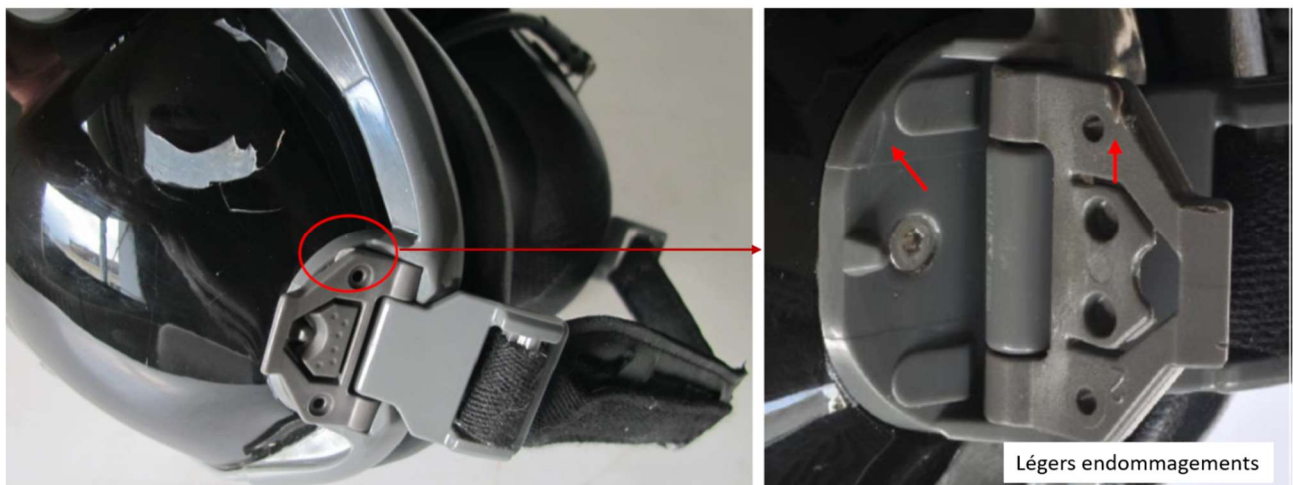


Figure 15 : vues du casque copilote et de la jugulaire

La jugulaire du casque du copilote était attachée trop lâche ou mal verrouillée. La jugulaire n'a pas permis au casque de rester en place sur la tête du copilote.

¹¹ Le *Windblast* est un moyen d'essais conçu par DGA TA pour tester les équipements des pilotes de chasse à l'éjection.

2.1.4. Analyse des données de l'EFIS

Pour obtenir la vitesse cible pour l'ouverture du domaine de vol, l'aéronef est placé en piqué et atteint un taux de chute d'environ 2000 ft/min. Évoluant à une altitude comprise entre 2000 ft et 1500 ft, un tel taux de chute provoque le déclenchement de l'alarme « SINK RATE ».

En approchant la vitesse de 295 km/h, alors que l'avion accélère encore légèrement, les paramètres enregistrés subissent un sursaut bref et marqué. Le nez de l'avion descend brusquement jusqu'à 25° de piquer, puis l'inclinaison prend 15° à droite, la vitesse verticale montre que l'avion monte puis redescend brusquement. La vitesse indiquée augmente très légèrement durant cinq secondes puis décroît.

Cette brusque variation des paramètres apparaît consécutive à l'arrachement de la verrière.

À 16h58m20s, une alarme de proximité du sol se déclenche pour avertir d'un risque de collision. Une remise de gaz est initiée immédiatement.

La vitesse maximale atteinte au cours du vol est de 310 km/h à 16h58.

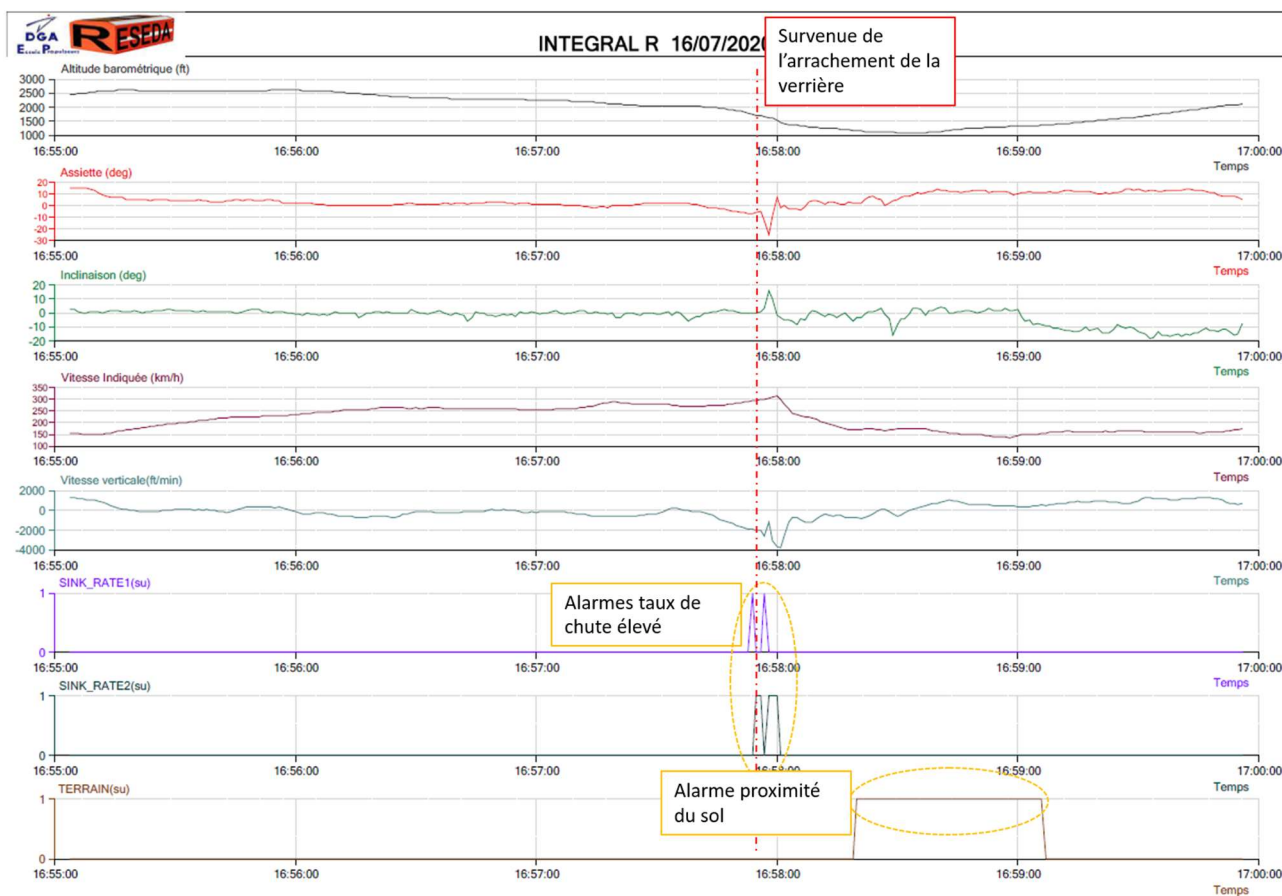


Figure 16 : extrait des données de l'enregistreur de vol

L'arrachement de la verrière se produit aux environs de 295 km/h, lorsque l'avion approche de la vitesse cible.

2.2. Recherche des causes de l'évènement

2.2.1. Domaine technique

2.2.1.1. Dimensionnement des rails de fixation

Les expertises techniques ont révélé un sous dimensionnement du système de fixation des rails sur les tasseaux en bois en l'absence de fixations de la partie arrière de la verrière sur le fuselage. Ces pions de fixation n'avaient pas été installés en l'attente de la mise en place du parachute de cellule.

La verrière s'est désolidarisée car le système de fixation des rails sur les tasseaux en bois n'était pas assez robuste pour résister seul à la force aérodynamique générée sur la verrière à la vitesse atteinte, en l'absence des pions de fixation prévus à l'arrière.

2.2.1.2. Design de l'aéronef

Pour répondre aux attentes des futurs acheteurs de l'Intégral, le design de l'avion tient compte du gabarit actuel des pilotes, plus grands que par le passé. Le cockpit est dessiné plus large et plus haut que sur les aéronefs de même gabarit plus anciens. Avec une telle largeur de cockpit, la définition de la verrière coulissante représente un défi technologique qui doit permettre d'obtenir un profil de vol cohérent avec les performances attendues pour l'aéronef tout en répondant aux normes de résistance.

Par ailleurs, l'insertion d'un parachute de cellule à l'arrière du cockpit, souhaité par Aura Aéro pour améliorer le niveau global de sécurité de l'Intégral, augmente la difficulté d'ancrage de la verrière.

Peu de temps après l'évènement, avant que des essais d'ancrage avec d'autres tasseaux ne soient effectués dans le cadre de l'enquête, Aura Aéro a décidé de modifier le profil de la verrière.

Le dimensionnement de la verrière, plus large qu'à l'accoutumée, combiné à l'absence des points d'ancrage à l'arrière de celle-ci, est un facteur contributif de l'évènement.

2.2.1.3. Matériau de la verrière

La verrière de l'Intégral est constituée de polymère plastique. Ce matériau est fréquemment utilisé dans la constitution des verrières d'aéronef car il offre une bonne résistance aux chocs, au vieillissement et garantit de bonnes qualités de transparence, sans déformation. Cependant, ce matériau, lorsqu'il se brise, devient très coupant et donc dangereux pour les occupants de l'aéronef.

En s'arrachant, la verrière s'est brisée en plusieurs morceaux. Certaines parties détachées ont provoqué une blessure au commandant de bord.

Le matériau utilisé de manière généralisée pour la verrière est particulièrement coupant en cas de bris.

2.2.2. Domaine environnemental

Jugeant l'air insuffisamment stable, la société Aura Aero a reporté les essais de calibration anémométrique, qui nécessitent une bonne précision de la vitesse lue.

Les essais de décrochage ont également été reportés, puisque le plafond n'était pas suffisant pour ces vols.

En lien avec les conditions météorologiques, les essais d'ouverture de domaine en vitesse sont effectués à une hauteur de vol plus basse que prévu initialement.

Les conditions météorologiques du jour ont contribué à la modification du vol prévu et de la hauteur à laquelle le vol est réalisé.

2.2.3. Domaine relevant des facteurs organisationnels et humains

2.2.3.1. Développement numérique du prototype

Les études des contraintes aérodynamiques sur le fuselage et la verrière de l'Intégral ont été réalisées au moyen de calcul numérique sans essai en soufflerie. Au cours de cette étude, de nombreux paramètres sont à étudier. Certains résultats pouvaient mettre en évidence une éventuelle fragilité de l'attache de la verrière à haute vitesse. Ces informations, noyées parmi de nombreuses autres données, n'ont pas été parfaitement identifiées et analysées par l'équipe de développement.

Par ailleurs, la réglementation n'impose pas d'essai préalable en soufflerie susceptibles de mettre en évidence ce point de fragilité.

Sur la base des calculs de résistance, qui laissaient apparaître que les six inserts seraient suffisants, Aura Aéro a jugé la configuration de l'avion compatible avec la réalisation de ce vol d'essais jusqu'à 300 km/h.

La résistance du système d'ancrage de la verrière sur le fuselage, à haute vitesse, a pu être mal évaluée par l'équipe d'essais. Elle a conduit à l'exécution du vol d'essais dans des conditions aux limites de la résistance des attaches en place.

2.2.3.2. Nature du vol

La mission est un vol de développement dont l'un des objectifs est l'ouverture de domaine de vol de 260 à 300 km/h. La limite de 300 km/h est une valeur inférieure à la vitesse limite calculée lors de la conception de l'aéronef.

Le programme du vol comportait également un essai de calibration anémométrique dont le but était de s'assurer de la précision des vitesses fournies par l'EFIS avant l'ouverture de domaine 260-300 km/h ainsi que des essais de décrochage.

Ainsi, le vol est principalement orienté sur la notion de vitesse, et peut avoir détourné l'attention de l'équipe sur les caractéristiques de la verrière.

Focalisée sur la vitesse, l'équipe d'essai a peu porté son attention sur une éventuelle fragilité de l'attache de la verrière.

2.2.3.3. Composition de l'équipage

Ce vol relève de la catégorie 1 des essais en vol. Pour les aéronefs de moins de 2000 kg, la réglementation n'impose pas que le pilote réalisant des essais soit un pilote qualifié essais. La société Aura Aero a toutefois fait le choix de faire appel à des pilotes d'essais qualifiés comme gage de qualité et d'expérience. Les deux membres d'équipage ont une expérience importante dans le domaine des essais en vol.

Il existe quatre catégories d'essais et deux catégories de qualification de pilote d'essais. Le pilote d'essais en vol de catégorie 1 est apte à toutes les catégories d'essais. Le pilote d'essais en vol de catégorie 2 est apte aux essais de catégories 2 à 4.

Ce niveau d'expérience globale a pu conduire l'équipage à minimiser les risques associés à l'ouverture de domaine sur un appareil léger ne requérant réglementairement aucune qualification particulière.

L'équipage, très expérimenté, peut avoir été sujet à un excès de confiance.

2.2.3.4. Implication de l'équipage

Le pilote CDB est particulièrement expérimenté dans le domaine des essais en vol. Le copilote, également très expérimenté, est aussi directeur des essais en vol au sein de Aura Aero.

N'étant pas affectés de manière permanente chez Aura Aero, les deux pilotes sont présents le jour de l'évènement spécifiquement pour réaliser le vol d'essai.

La très forte motivation des deux pilotes pour réaliser ce vol a pu altérer leur capacité d'analyse de la situation avec objectivité et les conduire à sous-estimer le risque. En effet, ils maintiennent le vol bien que les conditions météorologiques leur imposent de voler moins haut que prévu. Ainsi, les marges de manœuvre en cas d'évènement inattendu sont réduites.

L'implication directe du copilote dans le programme des essais en vol et l'engagement de l'équipage pour réaliser le vol pu induire un manque de recul de ce dernier lors de la réalisation de ce vol en particulier.

2.2.3.5. Appréciation du risque par Aura Aero lors du développement

2.2.3.5.1. Choix du pas d'ouverture de domaine

L'ouverture de domaine en vitesse jusqu'à 300 km/h est programmée par pas de 20 km/h. Il est d'usage dans les essais d'ouverture de domaine en vitesse d'appliquer un pas de 10 km/h à l'approche des limites maximales. Ainsi, lors de cet essai, une réduction du pas de 20 à 10 km/h aurait apporté deux points de mesures supplémentaires (à 270 et à 290 km/h).

Les efforts d'aspiration qui s'exercent sur la verrière sont proportionnels au carré de la vitesse. Dans ces circonstances, le choix d'un pas de 20 km/h pour l'ouverture de domaine en vitesse en approchant de la limite fixée obère la détectabilité de signaux précurseurs à une rupture.

Le choix d'un pas d'ouverture de domaine en vitesse de 20 km/h au lieu de 10 km/h n'a pas permis de détecter un éventuel signe avant-coureur de faiblesse structurelle de la verrière.

2.2.3.5.2. Absence d'essais en soufflerie

L'absence d'essai préalable en soufflerie reporte sur les essais en vol les risques liés à un problème de conception du profil aérodynamique. Notamment, la modélisation des efforts aérodynamiques sur l'avion ne fait pas apparaître l'effort généré par la dépression à l'arrière de la verrière. L'équipe de développement d'Aura Aero n'a pas pris conscience des risques liés à ces efforts sur le maintien de la verrière, notamment en l'absence des trois pions de fixation prévus à l'arrière de celle-ci.

L'équipe d'Aura Aero a fait l'objet d'une erreur d'appréciation pour le design de la verrière et n'a pas pris conscience du niveau de risque pour ce vol en particulier.

2.2.3.5.3. Equipage d'essai

Dans le cadre d'un système de gestion du risque, il est préconisé de réduire au strict minimum le nombre de personnes embarquées pour réduire le niveau de gravité des conséquences d'un accident.

Typiquement, pour des essais en vol d'ouverture de domaine d'un avion monopilote, la réglementation n'impose pas deux pilotes.

Cependant, la société Aura Aero décide de mettre deux pilotes d'essais à bord pour l'ouverture de domaine en vitesse. Ce choix d'un équipage à deux va dans le sens de la sécurité et de celui d'un vol d'essais impliquant une répartition des tâches et une surveillance particulière du comportement de l'aéronef. Dans le cas de l'incident objet de cette enquête, c'est le copilote qui reprend en premier ses esprits et reprend les commandes de l'avion qui partait en fort piquer.

La composition de l'équipage s'avère *in fine* l'élément déterminant pour la sauvegarde de l'avion consécutivement à la perte de la verrière en vol.

2.2.3.5.4. Ergonomie de l'Integral R

Le copilote prend les commandes de vol pour la sortie de piquer puis la remise de gaz. Dans les deux cas, il est tributaire du CDB à qui il demande d'agir sur la manette de puissance. En effet, à ce stade du développement, une seule manette de puissance est installée et est positionnée contre le tableau de bord, le long du fuselage gauche.

En cas d'indisponibilité du pilote en place gauche, les manœuvres de sauvegarde exécutées par le pilote en place droite peuvent être compromises par la difficulté d'accès à la seule manette de puissance installée.

Aura Aero a d'ores et déjà prévu d'installer deux manettes de puissance sur l'Integral lors de la phase de production.

Lors de l'évènement et à ce stade du développement, une seule manette de puissance est installée. Du fait de sa position à gauche le long du fuselage, elle est difficilement accessible par le pilote en place droite. Cette ergonomie n'est pas cohérente avec des essais en vol programmés en équipage à deux pilotes et n'est pas optimale pour permettre de faire face à toute situation inattendue en vol d'essais.

2.2.3.6. Restitution du vol

Lors de certains de ses vols d'essais, Aura Aero a équipé l'Integral de moyens d'enregistrement des paramètres de vol et de moyens vidéos. Ces instruments, dont la présence est conseillée lors des vols d'essais, permettent de visualiser le comportement de l'avion et de restituer les évènements marquants. Ils constituent en effet des supports particulièrement utiles pour ensuite faciliter et sécuriser le développement de l'avion.

Pour ce vol d'essais comportant une ouverture du domaine en vitesse, Aura Aero n'a équipé l'Integral d'aucun moyen de restitution.

L'absence d'équipement de l'avion en moyens de restitution pour ce vol comportant une ouverture de domaine en vitesse a privé l'équipe de développement d'un retour d'expérience utile.

PAS DE TEXTE

3. CONCLUSION

L'évènement est une perte de verrière au cours d'un vol d'essais avec ouverture de domaine.

SCF - NP¹²

3.1. Éléments établis utiles à la compréhension de l'évènement

Le jeudi 16 juillet 2020, le prototype Integral R doit décoller de Toulouse Francazal pour effectuer un vol de développement comportant notamment une ouverture de domaine en vitesse de 260 à 300 km/h suivi d'une mise en place à Muret. L'équipage est composé de deux pilotes d'essais. Un CAP 10 de la société Aura Aero suit le vol d'essais.

En début d'après-midi, la masse d'air étant estimée trop instable par l'équipage, les décrochages et la calibration anémométrique sont reportés à un vol ultérieur, contrairement à l'ouverture de domaine en vitesse et au convoyage qui sont maintenus.

La patrouille constituée de l'Integral R et du CAP 10 roule à 16h00 puis rentre au parking pour régler un problème d'allumage moteur sur l'Integral R. À l'issue de l'intervention technique, l'équipage se rééquipe. Le copilote remet son casque sans ajuster correctement la jugulaire. La patrouille décolle à 16h50.

L'essai d'ouverture de domaine en vitesse 260 à 300 km/h débute à 16h57m00s par pas de 20 km/h. L'avion accélère progressivement en descente à partir de 254 km/h. À 16h57m20s, lorsque l'avion atteint 295 km/h, la force aérodynamique créée par l'écoulement de l'air à forte vitesse sur la verrière provoque l'arrachement des deux inserts de fixation arrière de la verrière mobile, suivi des quatre autres inserts.

La verrière mobile est retenue quelques secondes au pare-brise par son mécanisme de verrouillage, avant de se détacher. Deux inserts prévus sur la partie arrière du rail ainsi que ceux permettant de fixer la verrière derrière le cockpit n'étaient pas installés.

Le CDB est légèrement commotionné et blessé par des fragments de la verrière, particulièrement coupants. Le copilote perd son casque qui était mal attaché. La verrière bascule sur le côté droit de l'avion et heurte le fuselage qu'elle perce sans pour autant endommager les cadres de la structure. L'avion se retrouve dans une position inusuelle à piquer, alors que le vol se déroule à une hauteur plus basse que prévu initialement.

Des alarmes « SINK RATE » et « terrain » se déclenchent. 38 secondes après la première alarme, le copilote prend les commandes et initie une manœuvre de sortie de piquer. Puis, de manière coordonnée avec le CDB, il effectue une remise de gaz avec une action de ce dernier sur l'unique manette de gaz positionnée à sa gauche, le long du fuselage. Durant cet évènement, la vitesse maximale atteinte en piquer est de 310 km/h. Le CAP 10 se rapproche, échange quelques signaux visuels et dirige la patrouille vers l'aérodrome de Muret en annonçant une situation d'urgence au contrôleur aérien. L'Integral R se pose sur la piste 30 non revêtue à 17h05.

Un membre d'équipage est légèrement blessé. L'avion est légèrement endommagé.

3.2. Causes de l'évènement

La perte de la verrière mobile en vol résulte d'un sous dimensionnement de son système de fixation, en l'absence des trois pions d'ancrage prévus à l'arrière de la verrière et de deux inserts à l'arrière du rail, aux vitesses supérieures du domaine de vol. Le design et le dimensionnement de la verrière, plus large qu'à l'accoutumée, rendent sa fixation sur la cellule délicate. Ce point particulier d'attention n'a pas été suffisamment pris en compte par l'équipe de développement lors de ce vol d'ouverture de domaine en l'absence de plusieurs points d'ancrage. Cette fragilité du système d'ancrage n'a pas été identifiée lors des études numériques.

L'équipe de développement a fait l'objet d'une erreur d'appréciation pour le design de la verrière.

Puis, l'équipe d'essais, concentrée sur l'objectif du vol, et particulièrement motivée pour ce vol, n'a pas pris conscience du niveau de risque pour cet essai avec ouverture de domaine en vitesse.

Le choix du pas d'ouverture de domaine en vitesse n'a pas permis de détecter un éventuel signe avant-coureur de faiblesse structurelle de la verrière.

¹² SCF-NP : *system failure component – non powerplant*. Référence : Aviation Occurrence Categories version de mai 2021 de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

PAS DE TEXTE

4. RECOMMANDATIONS DE SECURITE

4.1. Mesures de prévention ayant trait directement à l'évènement

4.1.1. Design de la verrière

Pour tenir compte des contraintes actuelles d'encombrement dans le cockpit, Aura Aéro a développé une verrière particulièrement large, ce qui pose des difficultés d'ancrage sur la cellule. L'installation d'un parachute de cellule à l'arrière du cockpit augmente cette difficulté. Les points d'ancrage installés se sont avérés insuffisants dans la plage de vitesses hautes du domaine de vol de l'Intégral.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à Aura aéro de revoir le système d'ancrage de la verrière de l'Intégral.

R1 – [C-2020-08-I] Destinataire : Aura aéro

4.2. Mesures n'ayant pas trait directement à l'évènement

4.2.1. Avis aéromédical après un incident aérien

Le CDB n'a pas estimé nécessaire d'obtenir un avis aéromédical confirmant que l'incident n'avait induit aucune diminution de son aptitude médicale susceptible de remettre en question ses privilèges de pilote d'essai. Pourtant, l'item 24 du formulaire DGAC pour demande de certificat médical prévoit de détailler tout accident aérien ou incident de vol subi depuis le dernier examen médical. Cette exigence DGAC témoigne de l'impact physique ou psychique que peuvent avoir les évènements aériens sur les aptitudes médicales.

Une société mettant en œuvre des aéronefs devrait s'assurer avant de remettre en vol des membres d'équipage impliqués dans un accident ou un incident aérien, qu'ils ont obtenu un avis aéromédical ne s'opposant pas à la reprise de leur activité aérienne.

En conséquence, le BEA-É recommande :

à l'AESA d'étudier la plus-value d'exiger que les sociétés mettant en œuvre des aéronefs s'assurent, avant de remettre en vol des membres d'équipage impliqués dans un accident ou un incident aérien, qu'ils ont obtenu un avis aéromédical ne s'opposant pas à la reprise de leur activité aérienne.

R2 – [C-2020-08-I] Destinataire : AESA

ANNEXES

ANNEXE 1 Vitesses de calcul définies pour l'enveloppe de vol.....	33
ANNEXE 2 Catégories d'essais en vol	35

ANNEXE 1 VITESSES DE CALCUL DÉFINIES POUR L'ENVELOPPE DE VOL

Dans le cadre de la certification d'un avion, plusieurs vitesses sont définies pour lesquelles des exigences sont à respecter.

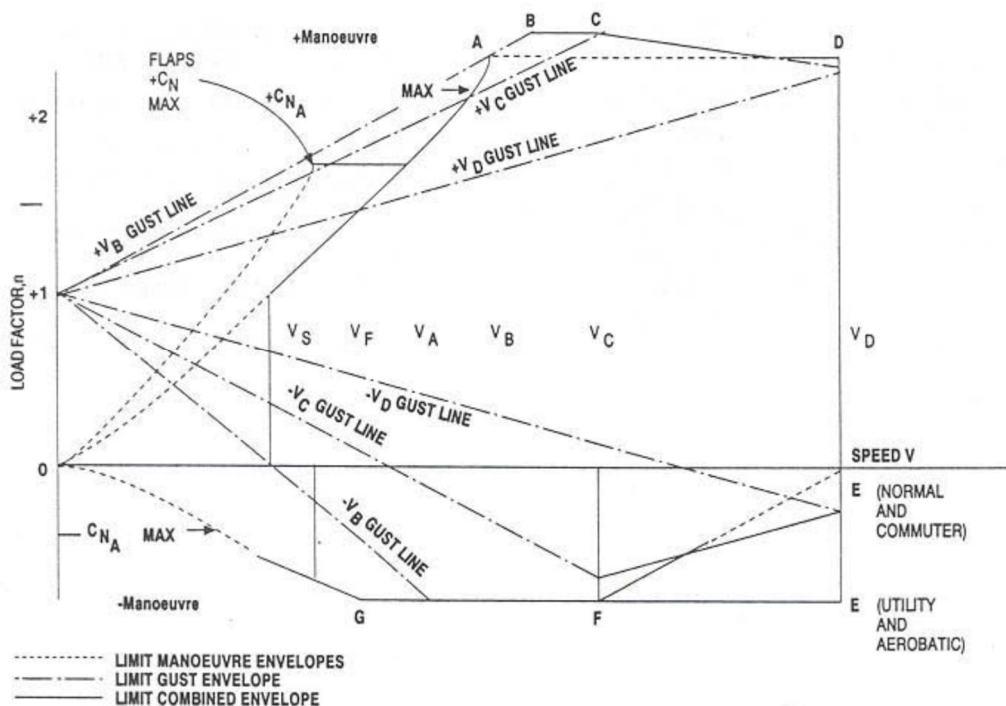


Figure 17 : enveloppe de vol

Vitesse de décrochage : VS

Cette vitesse est calculée à partir du calcul du coefficient de portance maximum de l'avion et dépend de la masse.

Vitesse de calcul en croisière : VC

Cette vitesse permet de parer une éventuelle augmentation de vitesse sous l'effet d'une forte turbulence.

- Pour les avions de la catégorie voltige, VC (en nœuds) ne doit pas être inférieure à $36 \sqrt{W/S}$ où ;
 - W/S est la charge alaire à la masse maximale de conception au décollage (en lb / ft²) ;
 - pour des valeurs de W/S supérieures à 20, les facteurs de multiplication peuvent être diminués linéairement avec W/S jusqu'à une valeur de 28,6 pour W/S = 100 ;
- VC doit ne pas être supérieure à 0,9 VH où VH est la vitesse maximale en palier au niveau de la mer à la masse maximale.

Vitesse de calcul en manœuvre : VA

Cette vitesse permet le débattement complet des gouvernes sans que l'avion ne subisse de contraintes trop importantes qui remettent en cause la tenue structurelle de l'avion.

- VA ne doit pas être inférieure à $VS \sqrt{n}$ où ;
 - VS est une vitesse de décrochage calculée avec volets rentrés à la masse de conception, normalement basée sur les coefficients de force normale maximale de l'avion, CNA ;
 - et n est le facteur de charge de manœuvre limite utilisé dans la conception ;
- VA ne doit pas être supérieure à la valeur de VC retenue.

Vitesse de calcul en piquer : VD

Cette vitesse permet d'établir une sécurité en cas de perte de contrôle à VC.

- VD ne doit pas être inférieure à 1,25 VC ;
- Pour les avions de la catégorie voltige, VD ne doit pas être inférieur à 1,55 VC min où ;
 - VC min est la vitesse de calcul en croisière minimale ($36 \sqrt{W/S}$) ;
 - pour des valeurs de W/S supérieures à 20, les facteurs de multiplication peuvent être diminués linéairement avec W/S jusqu'à une valeur de 1,35 pour W/S = 100.

Vitesse à ne jamais dépasser : VNE

La VNE doit être établie de telle sorte qu'elle ne soit :

- pas inférieure à 0,9 fois la valeur minimale de VD ;
- et pas supérieure à 0,9 VD ni 0,9 fois la vitesse de résonance¹³.

Vitesse de croisière structurelle maximale : VNO

La VNO doit être établie de telle sorte qu'elle ne soit :

- pas inférieure à VC min ;
- et pas supérieure à VC retenue ni 0,89 VNE retenue.

¹³ La vitesse de résonance est la vitesse à partir de laquelle des phénomènes de vibration aéroélastiques apparaissent, affectant la résistance structurelle de l'aéronef.

ANNEXE 2

CATÉGORIES D'ESSAIS EN VOL

Les essais en vol se divisent en quatre catégories:

La catégorie 1 est constituée :

- du (des) vol(s) initial(aux) d'un nouveau type d'aéronef ou d'un aéronef dont les caractéristiques de vol ou de manœuvre sont susceptibles d'avoir fait l'objet d'une modification importante ;
- des vols au cours desquels il est possible de devoir faire face à des caractéristiques de vol considérablement différentes de caractéristiques connues ;
- des vols destinés à étudier des caractéristiques ou techniques de conception d'aéronef nouvelles ou inhabituelles ;
- des vols destinés à délimiter ou élargir l'enveloppe de vol ;
- des vols destinés à déterminer les performances réglementaires, les caractéristiques de vol et les qualités de manœuvre à l'approche des limites de l'enveloppe de vol ;
- de la formation aux essais en vol pour les essais en vol de catégorie 1.

La catégorie 2 est constituée :

- des vols non classés dans la catégorie 1 à bord d'un aéronef dont le type n'est pas encore certifié ;
- des vols non classés dans la catégorie 1 à bord d'un aéronef dont le type est déjà certifié, après la mise en œuvre d'une modification non encore approuvée et qui :
 - nécessitent une évaluation du comportement général de l'aéronef, ou ;
 - nécessitent une évaluation des procédures de base relatives aux équipages, lorsqu'un nouveau système ou un système modifié est en cours d'exploitation ou est requis, ou ;
 - doivent voler intentionnellement hors des limitations de l'enveloppe opérationnelle actuellement approuvée, mais dans les limites de l'enveloppe de vol évaluée ;
- de la formation aux essais en vol pour les essais en vol de catégorie 2.

La catégorie 3 est constituée des vols effectués à des fins de délivrance d'une attestation de conformité pour un nouvel aéronef n'exigeant pas de vol en dehors des limitations du certificat de type ou du manuel de vol de l'aéronef.

La catégorie 4 est constituée des vols non classés dans la catégorie 1 ou 2 à bord d'un aéronef dont le type est déjà certifié, en cas de mise en œuvre d'une modification de conception non encore approuvée.

PAS DE TEXTE