



# **Vers un guide méthodologique pour l'évaluation Facteurs Humains des collimateurs tête haute**

Rapport de synthèse – HUD (Head-Up Display)

---

direction générale  
de l'Aviation civile

---

direction des affaires  
stratégiques et techniques

---

sous-direction  
de la sécurité et de  
l'espace aérien

---

**bureau des aéronefs  
et de l'exploitation**

Mai 2005

ONERA

Département  
Commande des Systèmes et Dynamique du Vol

Rapport final RF 1/04710 DCSD  
**Vers un guide méthodologique  
pour l'évaluation FH des collimateurs tête haute (HUD)**

**Etude pré réglementaire SFACT.  
Rapport de synthèse de la seconde tranche.**

Mai 2005

**Auteurs :**

P. Le Blaye (DCSD)

C. Valot (IMASSA)

**- Page sans texte -**

## Fiche d'identification

**Rapport : DCSD-T/R-83/05**

**Document émis : RF 1/07410 DCSD- Date enregistrement : 31 mars 2005**

**Contractant : DGAC/SFACT**

**Référence : Marché n°99.50.074 avenant n°2 .**

**Fiche programme : 330**

### Résumé d'auteur :

Ce document constitue le rapport de synthèse de la seconde tranche de l'étude sur les symbologies des collimateurs tête haute (HUD), réalisée en collaboration avec l'Institut de Médecine Aéronautique du Service de Santé des Armées (IMASSA) pour le compte du SFACT dans le cadre de son programme de recherche pré normative sur la sécurité de l'aviation civile.

Cette seconde tranche de l'étude a été consacrée à l'élaboration d'un projet de guide méthodologique pour l'évaluation des aspects facteurs humains (FH) des HUD, en s'appuyant sur l'expérience d'un programme de développement et certification de HUD en cours chez Airbus.

Ce rapport rappelle les principales conclusions de la première tranche puis présente la démarche suivie lors de la seconde tranche afin d'aboutir au projet de guide publié par ailleurs.

### Notions d'indexage :

aviation de transport – facteurs humains – réglementation – certification – symbologie – collimateur  
tête haute – HUD

## Liste de diffusion

### Destinataires du document :

#### Extérieurs :

DGAC/DAST/SEA	M. Deharvengt 50, rue Henry Farman 75720 Paris Cedex 15	2 ex.
IMASSA	Mmes Marchand, Roumes, Mr Valot BP 73 91223 Brétigny-sur-Orge Cedex	5 ex.
DGAC/DCS/NO	Mme Turret 50, rue Henry Farman 75720 Paris Cedex 15	1 ex.
DGAC/DCS/PN	M. Beyris 50, rue Henry Farman 75720 Paris Cedex 15	1 ex.
CEV/Toulouse	Mme Deville, MM. Fabre, Poisson 18, rue de Roquemaurel BP 3023 31024 Toulouse Cedex 3	3 ex.

#### Intérieurs :

DCSD-Toulouse	C. Barrouil, L. Chaudron	2 ex.
DCSD-Salon	P. Bonnet, D. Tristrant, N. Maille, P. Le Blaye	5 ex.
DPRS-Toulouse	B. Lamiscarre	1 ex.
DCV/A-Châtillon	A. Lafon	1 ex.
DCV/E-Châtillon	Y. Aurenche	1 ex.
CID Toulouse		1 ex.

### Destinataires de la fiche d'identification seule :

#### Extérieurs :

#### Intérieurs :

#### Diffusion systématique :

D – DSG – DTG – DAJ – DSB - DCV

## Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Rappel sur la première tranche de l'étude</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1. Objectifs</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2. Méthodologie</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3. Principales conclusions</b> .....	<b>8</b>
<b>3. Seconde tranche de l'étude</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1. Objectifs</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2. Elaboration du projet de guide méthodologique</b> .....	<b>10</b>
3.2.1. La certification et l'évaluation FH.....	10
3.2.2. Le besoin d'un guide méthodologique .....	12
3.2.3. Quelles sources méthodologiques ?.....	12
3.2.4. Evolution du contexte réglementaire.....	14
3.2.5. Evolution du contexte utilisateur .....	17
3.2.6. La démarche d'élaboration .....	18
<b>3.3. Les nouveaux concepts</b> .....	<b>19</b>
3.3.1. Le système HUD avec imagerie, EVS et SVS .....	19
3.3.2. Le système HUD dual.....	22
3.3.3. Autres technologies émergentes .....	23
<b>4. Conclusion</b> .....	<b>23</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>24</b>
<b>Annexe 1 : Abréviations</b> .....	<b>25</b>
<b>Annexe 2 : Références contractuelles</b> .....	<b>26</b>
<b>Annexe 3 : Références réglementaires</b> .....	<b>27</b>
Documents EASA.....	27
Réglementation JAA.....	27
Réglementation FAA .....	29
Documentation SAE .....	30
<b>Annexe 4 : Compléments de bibliographie commentée</b> .....	<b>35</b>
HUD général.....	35
HUD dual.....	36
HUD avec EVS ou SVS.....	37

-o-O-o-

## 1. Introduction

Ce document constitue le rapport de synthèse de la seconde tranche de l'étude pré-réglementaire sur les symbologies des collimateurs tête haute (HUD), réalisée pour le compte du Service de la Formation Aéronautique et du Contrôle Technique (SFACT) dans le cadre de son programme de recherche pré normative sur la sécurité de l'aviation civile [Réf. 1].

Cette étude est effectuée sous la responsabilité du Département Commande des Systèmes et Dynamique du vol (DCSD) de l'ONERA en collaboration avec l'Institut de Médecine Aérospatiale du Service de Santé des Armées (IMASSA).

L'étude concerne les collimateurs tête haute existant ou en projet dans l'aviation de transport civil, le HUD se définissant comme un instrument de pilotage présentant en position tête haute et en superposition à la vision extérieure, des informations sous forme de symboles numériques (caractères alpha numériques) ou analogiques (forme géométrique dans un espace à deux dimensions). Ces informations sont généralement collimatées à l'infini optique, conformes au monde extérieur et monochromes (vert phosphore).

Ce rapport rappelle les objectifs et les principales conclusions de la première tranche de l'étude, puis il présente les objectifs et le déroulement de la seconde tranche. Celle-ci a été essentiellement consacrée à l'élaboration d'un projet de guide méthodologique pour l'évaluation des aspects facteurs humains (FH) des HUD : ce projet de guide est publié séparément à ce rapport. Cette seconde tranche s'est également intéressée aux concepts de HUD avec imagerie (EVS, SVS) ainsi qu'au concept de HUD dual.

## 2. Rappel sur la première tranche de l'étude

### 2.1. Objectifs

La première tranche de l'étude notifiée le 03 juillet 2000 [Réf. 2] a été réalisée en collaboration avec le Centre d'Essais en Vol d'Istres (CEV), et avec la participation de compagnies aériennes utilisatrices de collimateurs tête haute (Air France, Brit'Air, L'Aéropostale), sur la période de juillet 2000 à janvier 2002.

Elle a permis de faire l'état de l'art de la réglementation concernant les symbologies des collimateurs en tête haute (HUD), de leur certification, des symbologies existantes et de leur usage. Elle a montré l'intérêt d'orienter la seconde tranche sur la définition d'une méthodologie d'évaluation dans le cadre d'un programme de développement industriel, plutôt que sur l'étude d'une symbologie dans un cadre expérimental éloigné du contexte d'emploi réel.

Les travaux menés dans cette tranche ont fait l'objet de rapports détaillés [Réf. 3 et Réf. 4].

### 2.2. Méthodologie

Cette première tranche de l'étude a comporté les étapes suivantes :

- (1) Analyse comparative des réglementations JAA et FAA.
- (2) Bilan de l'interprétation des réglementations, au travers des entretiens avec les certificateurs.

- (3) Analyse comparative des symbologies de HUD existants et confrontation avec la réglementation.
- (4) Bilan de l'utilisation opérationnelle des HUD, au travers des sources de retour d'expérience et des entretiens avec les utilisateurs.
- (5) Synthèse des lacunes de la réglementation en regard des besoins des certificateurs et des fragilités opérationnelles identifiées.

Elle a ainsi permis de faire un bilan exhaustif et détaillé de la réglementation existante et en projet, des produits existants, des pratiques en vigueur pour leur certification ainsi que des expériences diverses acquises lors de l'utilisation opérationnelle au sein de différentes compagnies.

### **2.3. Principales conclusions**

L'analyse de l'usage du HUD dévoile un paradoxe : il occupe une place particulière dans la panoplie des instruments de la planche de bord. Elle est liée à sa position centrale en même temps qu'à sa relative rareté d'emploi effectif. En effet, les avions fortement automatisés n'en sont guère tributaires tant qu'ils opèrent sur des terrains adaptés à leur degré de technologie ; les appareils à l'automatisation moins intégrée doivent y avoir recours mais dans des situations somme toute exceptionnelles. L'usage pratique du HUD évolue ainsi depuis la source d'information "high-tech" apportant un confort d'opportunité à l'outil parfois irremplaçable et obligatoire mais dans des situations survenant rarement. Le HUD occupe également une place particulière dans l'univers affectif des pilotes, en modifiant radicalement la façon de piloter ; son usage pour les opérations dans les conditions courantes demeure ainsi fortement dépendant des préférences et des habitudes individuelles.

La diffusion de ce système est, elle aussi, ponctuelle et organisée en créneau : certaines flottes sont largement équipées, des gammes d'appareils d'affaire semblent prometteuses en termes d'équipement, tandis que dans d'autres segments de marché, le HUD est inexistant. Récemment, de nouveaux marchés (Australie, Asie) semblent toutefois s'ouvrir en même temps que de nouvelles technologies et procédures (GLS, EVS) entrent en application, qui pourraient encourager le développement des HUD.

Les grandes lignes de conclusion illustrent aussi la position particulière du HUD:

- L'analyse des textes réglementaires révèle un tableau contrasté : l'organisation des textes FAA ou JAA est complexe, la détermination des textes applicables pour la certification d'un HUD donné dépend de nombreux facteurs. En premier lieu, le concept d'emploi (HUD manuel, de surveillance ou hybride, instrument primaire ou secondaire) détermine les exigences applicables : il pourrait donc déterminer une éventuelle réorganisation des textes.
- L'analyse des spécifications des textes en matière de symbologie ne révèle pas de différence flagrante d'approche entre les textes JAA et FAA : les différences d'approche apparaissent davantage au niveau de l'interprétation des textes selon les certificateurs. Ces différences trouvent leur origine dans des conceptions différentes sur l'emploi des HUD et des appareils, et au delà, sur le rôle de l'opérateur humain dans la conduite de l'appareil.
- L'analyse des symbologies existantes permet de distinguer 3 types de symbologie selon le concept d'emploi pour lequel ils sont principalement conçus : surveillance, hybride ou manuel. Une base commune à ces symbologies existe, qui fait l'objet d'un consensus stabilisé entre les



équipementiers, pour les phases de vol courantes. Des solutions différentes apparaissent pour des situations de transitions (remise de gaz, rotation), ainsi que pour les situations particulières, liées à de nouveaux équipements (GPWS, TCAS).

- La confrontation de ces symbologies avec les textes réglementaires existants révèle effectivement un décalage : les HUD existants sont naturellement 'en avance' par rapport à la réglementation, ils ont des capacités supérieures à ce qui est spécifié dans les textes et, au delà de la réglementation, ils font appel à un savoir faire propre aux équipementiers pour résoudre des problèmes spécifiques non abordés dans les textes.
- Un décalage moins attendu est parfois constaté entre le très large domaine d'utilisation prévu à la conception des HUD et effectivement accessible en pratique, et le domaine d'utilisation certifié, limité à certaines phases de vol (approches) et effectivement prescrit par les compagnies. Ce décalage est lié au coût et au temps nécessaires pour l'extension de la certification à l'ensemble des phases de vol possibles avec les HUD récents.
- Les sources de retour d'expérience offrent peu d'observables ; elles ne révèlent pas de problème significatif de sécurité lié au HUD. Quel que soit le concept d'emploi, les utilisateurs interrogés affirment son intérêt pour la facilité et la précision du pilotage, en même temps qu'ils insistent sur le besoin de formation et d'entraînement spécifiques pour l'utilisation du HUD.
- Le processus de certification prend naturellement en compte les textes existants, mais surtout différentes dimensions techniques (compatibilité avec l'avion, emploi prévu) et culturelles (expérience des certificateurs, habitudes des utilisateurs). La méthodologie des programmes de certification est pragmatique et orientée sur la performance ; les contraintes de coût rendent difficile l'application de méthodes d'évaluation spécifiques sur les notions subjectives de la réglementation concernant les facteurs humains.

En conclusion, les différentes analyses et entretiens indiquent clairement que la constitution des symbologies HUD résulte de la confrontation de contraintes techniques, de besoins opérationnels, de conceptions d'emploi et d'intérêts économiques, qui peuvent difficilement être pris en compte de façon exhaustive dans la réglementation.

Une abondante littérature existe déjà sur des recherches amont en laboratoire concernant les problématiques spécifiques aux HUD : conformité des informations, *clutter*, focalisation d'attention,... Ces recherches ont permis d'établir le consensus actuel sur les éléments de base de la symbologie, repris sous forme de spécifications dans la réglementation.

L'absence de difficulté avérée concernant la sécurité et les consensus maintenant établis sur la constitution des symbologies limitent la pertinence d'un programme d'essai consacré à une tentative de définition d'une symbologie HUD standard, indépendamment d'un réel contexte applicatif et dans le cadre du système aéronautique actuel, à plus forte raison si l'environnement expérimental n'est pas représentatif d'un contexte d'emploi possible.

Dans la perspective d'une seconde tranche de cette étude, il est ainsi apparu plus adéquat de s'intéresser à un programme d'essai existant afin d'illustrer et de soutenir le développement d'une méthodologie d'évaluation utilisable pour la certification. Un contexte d'application comportant des concepts nouveaux en relation avec les futures évolutions du système de transport aérien a été

recherché, afin de contribuer à la réflexion nécessaire sur les dispositions réglementaires à prévoir pour ces concepts.

### **3. Seconde tranche de l'étude**

#### **3.1. Objectifs**

La seconde tranche de l'étude [Réf. 5] a donc été consacrée à l'élaboration d'un projet de guide méthodologique pour l'évaluation des aspects facteurs humains des HUD, compatible avec le contexte réglementaire actuel, et en s'appuyant sur l'expérience d'un programme industriel de développement et de certification de HUD. Le programme en cours chez Airbus a été retenu comme cas d'application. Ce projet de guide est publié séparément du présent rapport, qui ne fait que retracer la démarche suivie pour élaborer ce projet de guide.

D'autre part, les contacts établis auprès des experts certificateurs ont fait apparaître le besoin d'aborder dans le cadre de l'étude la problématique de l'EVS (Enhanced Vision System), fonctionnalité nouvelle offerte par les HUD les plus récents, en considérant notamment l'expérience acquise pour la certification (FAA) et la validation (JAA) de l'EVS sur le Gulf Stream V.

Une réunion de lancement de l'étude s'est tenue à l'IMASSA le 9 février 2005 [Réf. 6], au cours de laquelle les orientations indiquées ci dessus ont été confirmées.

#### **3.2. Elaboration du projet de guide méthodologique**

##### **3.2.1. La certification et l'évaluation FH**

###### **3.2.1.1. Le processus de certification**

Que le postulant soit un avionneur (cas d'un HUD conçu comme équipement intégré du cockpit d'un avion nouveau) ou un équipementier (cas d'un produit HUD proposé en équipement optionnel sur des avions existant), la charge lui revient :

- de négocier la base réglementaire avec l'organisme certificateur ;
- de proposer et de financer le programme d'essai ;
- d'adapter le produit en fonction des remarques de l'équipe de certification.

C'est dire son rôle dans la méthodologie mise en œuvre pour la certification d'un HUD.

Sous la pression des autorités et tirant parti des précédentes expériences de certification, une tendance heureuse est de préparer le processus de certification de plus en plus en amont, depuis la phase de conception initiale. A cette fin, les phases de conception impliquent des équipes aux compétences multiples : concepteurs (experts techniques), spécialistes FH (ergonomes) et pilotes (d'essai, instructeurs puis pilotes de ligne).

Dans sa globalité, la certification suit un processus cyclique dans lequel une solution technologique fait l'objet d'une évaluation pour en déterminer les limites, les conditions d'inadaptation, voire les incompatibilités éventuelles avec d'autres éléments du système. Les modifications nécessaires de la solution technique en sont déduites qui donnent lieu à des adaptations techniques proposées par le postulant. La nouvelle suggestion technique subit le cycle suivant. Le but est d'optimiser la démarche

en réduisant le nombre de cycles et en parcourant successivement différents supports d'évaluation : documents techniques papier, simulateur d'étude, simulateur de l'avion, campagnes d'essais en vol. Le coût croissant de la mise en œuvre des supports d'évaluation au cours de la certification oriente les investigations vers des situations rarement rencontrées dans l'utilisation en ligne du système mais dont la nature est cruciale au regard de la sécurité (scénarios catastrophe associant mauvaises conditions météo, pannes et erreurs humaines simulées...).

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'activité de l'équipe de certification composée d'un duo pilote-ingénieur navigant d'essai. Le fonctionnement de ce couple est représentatif de l'accès à l'information affichée dans le HUD, en conditions de vol. En effet, le HUD est un instrument de vol très particulier en ce qu'il est dédié au commandant de bord (ou séparément à chacun des membres d'équipage dans le cas d'un système HUD dual). Du fait de son domaine de visibilité limité (*eye box*), il constitue un support de dialogue homme-système mais pas un support de dialogue de l'équipage. Cet accès limité à la vision direct est une spécificité qui impose la mise en œuvre d'une méthodologie particulière pour le partage de l'information au sein de l'équipe de certification, en même temps qu'elle pose le problème du dialogue au sein des équipages en ligne.

### **3.2.1.2. L'évaluation FH**

L'évaluation des aspects facteurs humains lors de la certification de nouveaux équipements au sein d'un cockpit est identifié comme un point délicat depuis de nombreuses années. Plusieurs textes ont été publiés des deux côtés de l'Atlantique afin d'encadrer les pratiques et de répondre aux questions des certificateurs, en commençant par des textes de portée générale mais spécifiquement dédiés à l'évaluation FH.

En effet, les textes réglementaires généraux manquent de précision sur les aspects facteurs humains et sur la méthodologie qu'il convient d'adopter dans le cadre de la certification. Ils laissent une latitude considérable pour l'élaboration du programme de certification, qui repose sur la négociation menée avec l'industriel et sur l'interprétation de l'équipe de certification, sans fournir d'outils ni d'arguments suffisants pour traiter des points délicats tels que :

- la nécessité d'extrapoler les conclusions des essais de certification au futur contexte d'emploi en ligne ; cette extrapolation est fondée sur l'expérience propre du certificateur, généralement acquise en ligne, et sur leur connaissance des caractéristiques de la population des utilisateurs, à travers la notion de "pilote de référence", incluant ses capacités d'intégration de l'information, sa connaissance du système contrôlé, son respect des procédures, les contraintes auxquelles il est soumis, ses habitudes de vie, etc.
- la connaissance des pièges spécifiques au système à certifier ainsi que des incidents et accidents éventuellement survenus au cours de l'utilisation de systèmes similaires ;
- les méthodes d'évaluation (composition et effectif de la population d'essai, construction des scénarios, occurrence des événements, identification des critères à prendre en compte, notamment pour décider de l'acceptabilité d'une solution technique –*fail/pass criteria*-,...).

L'interim policy de la JAA en vigueur pour la certification de l'Airbus 380, puis le nouveau paragraphe CS 25.1302, fruit du travail du groupe d'harmonisation JAA-FAA sur les facteurs humains et actuellement en cours d'approbation par l'EASA, témoignent de ce souci de préciser les méthodologies d'évaluation FH.

### 3.2.2. Le besoin d'un guide méthodologique

Si différents efforts sont en cours pour combler la faiblesse actuelle de la réglementation spécifique à la conception des HUD (textes JAR HUDS, texte SAE ARP 5288 et document de travail de la FAA destiné à compléter l'AC 25-11), il n'en est pas encore de même pour les textes spécifiques à leur évaluation.

En effet, il n'existe pas actuellement de texte spécifique à l'évaluation du HUD, qui viendrait en complément des règles et des recommandations générales pour la démonstration de conformité (interim policy JAA et maintenant CS et AMC 25.1302). Le projet de guide méthodologique dont l'élaboration est l'objectif de la présente étude vise à répondre à ce besoin d'un 3<sup>ème</sup> niveau de détail dans l'arsenal réglementaire, qui préciserait l'application du paragraphe 1302 et de son AMC au cas du HUD.

Il est largement admis que le HUD constitue un équipement de cockpit tout à fait particulier à plusieurs égards, qui constituent autant de points de suspicion qu'il convient d'évaluer dans le cadre du programme de certification.

Instrument individuel de pilotage, interposé entre le pilote et le monde extérieur et présentant des caractéristiques optiques spécifiques, le HUD moderne est également un système complexe, doté de nombreux modes de fonctionnement, de lois de guidage propres et d'une capacité d'auto monitoring, et connecté à un nombre croissant d'équipements cockpit dont il intègre les informations (sources de navigation, A/P, GPWS, TCAS,..). Il constitue donc un équipement pleinement dimensionnant pour préciser l'application des nouveaux textes relatifs à l'évaluation FH.

Pour les années à venir, l'extension progressive de son utilisation à de nouvelles phases de vol et procédures (GLS, aide au roulage), l'intégration au HUD de technologies radicalement nouvelles (EVS, SVS) ainsi que le développement de nouveaux concepts d'utilisation (HUD dual) sont autant de facteurs d'accroissement probable du nombre de demandes de certification de HUD, que ce soit en tant qu'équipement intégré dès la conception aux nouveaux appareils ou en tant qu'équipement proposé pour la modernisation d'appareils déjà en service.

C'est dans un tel contexte qu'il est nécessaire de s'attacher à compléter les textes actuellement en vigueur et à anticiper les questionnements prévisibles des certificateurs. En d'autres termes il est nécessaire de préparer le matériel réglementaire pour des certifications plus complexes : c'est l'objet du projet de guide méthodologique rédigé lors de cette étude, centré sur les méthodes d'évaluation et destiné aux certificateurs.

### 3.2.3. Quelles sources méthodologiques ?

Le besoin d'un guide méthodologiques étant admis, il est nécessaire de s'interroger sur la disponibilité de méthodes pour l'évaluation FH des HUD.

La revue des études scientifiques menée lors de la première tranche de cette étude a permis de confirmer l'existence d'un important champ de recherche autour de problématiques spécifiques au HUD (partage et focalisation d'attention, perception spatiale, phénomène du *clutter*, symbolologies analogiques/numériques,...), d'identifier les caractéristiques des méthodes utilisées (expérimentations avec supports de niveaux de réalisme divers, contextes simplifiés et effectifs généralement réduits ou non représentatifs de la population professionnelle, utilisation combinée de

critères subjectifs et objectifs) et d'estimer les limitations de ces études (difficulté du transfert des méthodes et de l'extrapolation des résultats au monde réel).

En particulier, ces études de recherche ont généralement en commun de ne pas considérer les conditions opérationnelles et le contexte de la certification :

- Aucun HUD complet n'est employé dans les études recensées depuis une décennie.
- Aucune étude ne traite de la complexité d'usage du HUD dans des contextes opérationnels.
- La dynamique de son emploi (au sein de l'équipage, dans les interactions entre HUD et instrumentation ou automatismes) n'est pas non plus explorée.

Si ces études ne semblent pas pouvoir fournir de développements méthodologiques directement applicables dans le cadre de la certification, elles sont par contre très utiles pour ouvrir des pistes aux concepteurs quant à la diversification de l'usage du HUD. C'est en fait leur principale destination dans le cadre de projets contractuels de recherche, et elles contribuent ainsi à anticiper les difficultés d'un processus de certification ultérieur.

Néanmoins, en termes de réflexion méthodologique, les travaux analysés montrent qu'un enrichissement peut être proposé pour l'association de critères objectifs et subjectifs dans l'évaluation. Actuellement l'essentiel des méthodes décrites pour la certification est de nature quantitative et concerne des indicateurs tels que la dispersion de points d'impact à l'atterrissage ou des écarts de vitesse.

Les travaux recensés font apparaître l'intérêt de la convergence entre des critères purement quantitatifs et des critères qualitatifs. En effet, une dispersion ne décrit le degré de maîtrise d'un dispositif que dans le contexte simple dans lequel se déroule l'essai et ne permet pas d'établir la robustesse de cette maîtrise dans des situations diversifiées, plus contraignantes mais aussi plus révélatrices des limites du dispositif évalué. Les évaluations subjectives/qualitatives par les pilotes d'essais apportent des éléments de réponse précieux fondés sur leur expérience, en extrapolant aux conditions d'utilisation réelles (du simulateur au vol, du vol d'essais au vol en ligne) et aux diverses cultures, compétences et expériences des futurs pilotes de ligne utilisateurs. L'enrichissement du savoir faire FH de l'évaluateur/certificateur, afin qu'il puisse apprécier ces analyses et ajouter une investigation qualitative à l'évaluation, apparaît également comme un moyen de compenser les limitations imposées à l'évaluation FH dans le cadre de la certification.

Les méthodes d'évaluation sont également à rechercher en exploitant autant que possible les acquis des précédentes expériences de certification. Les efforts destinés à améliorer la documentation et la traçabilité des essais sont largement bénéfiques de ce point de vue.

En effet, les anciens HUD ont été certifiés alors que l'arsenal réglementaire était bien moins fourni que celui d'aujourd'hui. Les certificateurs confrontés à cette nécessité de construire un programme de certification en l'absence de recommandations ont développé une approche pragmatique dans l'objectif de remplir leur objectif de démonstration de l'acceptabilité de l'équipement pour l'usage proposé. Contrairement à ce qui se pratique systématiquement pour la certification de systèmes techniques (modes de défaillances, calcul de fiabilité), il n'est pas envisageable dans le cadre de l'évaluation FH de procéder à des essais systématiques de toutes les situations envisageables. Un choix de situations types à évaluer est donc réalisé à priori en s'appuyant sur une analyse détaillée des interactions pilote-équipement lors de l'utilisation prévue et surtout sur l'expérience acquise en

ligne et lors des certifications précédentes. L'absence de failles de sécurité avérées des systèmes HUD existant, les informations en retour de l'exploitation et les avis des utilisateurs semblent indiquer que cette approche de certification satisfait l'objectif escompté : ne pas laisser passer d'équipement potentiellement dangereux pour l'usage prévu.

Cette approche par "nouveau"<sup>1</sup> et "points de suspicion"<sup>2</sup>, partagée par les différents experts au sein des équipes de certification et des autorités et négociée avec l'industriel postulant, est maintenant promue par les nouveaux textes d'évaluation FH. Reste à en préciser les modalités pour son application aux spécificités du système HUD dans la complexité des situations rencontrées, et à s'assurer que sa pertinence soit maintenue avec les innovations envisageables dans les années à venir dans des contextes d'usage variés.

### 3.2.4. Evolution du contexte réglementaire

L'Annexe 3 de ce rapport fournit les principales références réglementaires en vigueur.

Comme il a été vu au travers des analyses de la réglementation conduites lors de la première tranche de cette étude, les textes réglementaires relatifs aux symbolologies HUD reposent d'abord sur des exigences fonctionnelles que doit satisfaire l'équipement, telles que par exemple :

*"The design of the HUD symbols should provide for satisfactory manual control, or for monitoring of automatic flight, for the flight phases for which approval is sought. (...) The selected symbols should be consistent with the intended uses of the HUD." (JAA HUD 903).*

A fortiori, les exigences concernant les facteurs humains sont généralement abordées sous une perspective fonctionnelle et subjective, dans la réglementation américaine comme dans la réglementation européenne. Par exemple, pour ce qui concerne la charge de travail :

*"The use of the HUD must not unduly fatigue the pilot (e.g., due to eye strain, maintaining a rigid head position, or excessive mental concentration). The work load associated with the use of the HUD must be considered in showing compliance with JAR 25.1523, ACJ 25.1523 and JAR 25 Appendix D." (JAR HUDS 903).*

L'annexe D à la FAR/JAR 25, prioritairement dédiée à la détermination de la taille minimale de l'équipage, indique les tâches à considérer et les facteurs de charge de travail sans préciser les méthodes d'évaluation qu'il est possible d'utiliser.

De façon générale, les textes existants indiquent les caractéristiques et objectifs à atteindre lors de la conception du HUD ; ils sont essentiellement rédigés à destination des concepteurs et les indications portant sur la méthodologie y sont réduites.

La nature même de la démarche de certification illustre cette difficulté. Il revient aux certificateurs d'apprécier que le matériel proposé satisfait au "minimum standards for safety". Ce minimum ne peut toutefois être décrit de manière détaillée pour tout dispositif ; il revient donc au certificateur une large

---

<sup>1</sup> Sous le terme « novel feature », l'interim policy des JAA regroupe « novel technology », « novel concept », « novel use of an existing equipment » et « novel procedures ». Alors que l'interim policy est uniquement consacrée à l'évaluation de ces novel features, le nouveau texte CS/AMC 25.1302 module le programme de certification en fonction du degré de nouveauté (novelty) candidat à la certification.

<sup>2</sup> La représentation mentale de l'espace construite par le pilote avec le HUD, les mécanismes d'attention ou encore la possibilité de récupération d'une attitude inusuelle sont autant de "points de suspicion" permanents pour tout HUD ; ils lui sont inhérents.

part d'appréciation. La conduite de cette appréciation implique l'expérience du certificateur ; elle est, de fait, de nature empirique (au sens philosophique de démarche fondée sur l'expérience) ; le partage de ce savoir faire repose principalement sur la communication au sein des équipes, qu'elle soit orale ou via la documentation du programme d'essai.

L'absence de guide méthodologique pour le processus de certification constitue également une difficulté pour la pérennisation et la comparaison des résultats obtenus ; la méthodologie apparaît bien comme le moyen de stabiliser tant les savoir faire que les résultats obtenus.

Avant la publication de l'interim policy par les JAA, le **document AC/AMC 25-11** relatif aux systèmes à affichages électroniques fournissait l'essentiel du contenu de la réglementation concernant l'évaluation FH (chapitre 4.b).

Ce texte toujours en vigueur des deux côtés de l'Atlantique, et effectivement applicable au HUD, repose sur une définition générale des facteurs humains et insiste sur l'importance de tenir compte de leur variabilité :

*"Human Factors. Humans are very adaptable, but unfortunately for the display evaluation process they adapt at varying rates with varying degrees of effectiveness and mental processing compensation. Thus, what some pilots might find acceptable and approvable, others would reject as being unusable and unsafe. Airplane displays must be effective when used by pilots who cover the entire spectrum of variability. Relying on a requirement of "train to proficiency" may be unenforceable, economically impractical, or unachievable by some pilots without excessive mental workload as compensation."*  
(AC/AMJ 25-11, 4b.1).

Il en tire pour conséquence que le programme de test doit inclure une quantité suffisante d'essais en vol et en simulateur avec une population représentative de pilotes, pour s'assurer des points suivants :

- Reasonable training times and learning curves;
- Usability in an operational environment;
- Acceptable interpretation error rates equivalent to or less than conventional displays;
- Proper integration with other equipment that uses electronic display functions;
- Acceptability of all failure modes not shown to be Extremely Improbable; and
- Compatibility with other displays and controls.

**L'interim policy publiée en 2001 par les JAA** visait à combler ce manque de recommandations pour l'évaluation facteurs humains, à appliquer pour la certification ou la validation d'une nouveauté dans le cockpit (*novel feature*), et en attendant un texte définitif préparé par le groupe d'harmonisation FH. Elle formalise la démarche à suivre pour l'évaluation.

Doit être considéré comme *novel feature* :

- une nouvelle technologie,
- un nouveau concept d'interface,
- une nouvelle utilisation d'un équipement existant,
- ou une nouvelle procédure.

Lorsqu'une telle nouveauté est identifiée, un document spécifique, intitulé condition spéciale, doit être établi par l'équipe JAA de certification, afin d'assurer une démonstration à deux niveaux :

- un niveau global, relatif à la bonne intégration du système dans le cockpit, en tenant compte des réalités de l'utilisation opérationnelle (interruptions de tâches, influence sur distribution des tâches, charge de travail,..) ;
- un niveau local, le système proposé devant satisfaire aux quatre grands critères suivants :
  - la facilité d'utilisation,
  - l'effet des erreurs, la possibilité de leur détection et de leur récupération,
  - le partage des tâches, la charge de travail en situation normale et anormale,
  - la pertinence des retours d'information.

Le texte requiert l'implication d'un spécialiste facteurs humains dans l'équipe de certification. Le profil de ce spécialiste est décrit précisément en terme de formation et d'expérience.

Une méthode suggérée pour l'évaluation est intitulée *Human Hazard Assesment* ; elle est similaire à la méthode *Functional Hazard Assesment* largement utilisée pour la certification de systèmes. Cette méthode consiste globalement à déterminer les conséquences possibles d'une utilisation incorrecte pour chacune des fonctions du système.

L'accent est mis cependant sur les caractéristiques spécifiques de l'opérateur humain, dont l'erreur comme élément normal de l'activité dont la probabilité doit être appréciée au minimum comme probable, et l'identification des éléments de protection qui prennent ainsi une importance considérable.

Le texte souligne également d'autres spécificités du comportement humain qu'il est nécessaire de prendre en compte (limitations en terme de mémoire et d'attention, relation entre fréquence d'utilisation, stress et performance, différences culturelles, etc.), L'importance d'identifier clairement la philosophie de conception de l'interface est également soulignée.

L'interim policy décrit également le plan type de certification FH. Elle a effectivement été utilisée pour établir différentes bases de certification, dont celle de l'A380 actuellement en vigueur.

#### Applicabilité pour la certification de HUD :

Ce projet de texte réglementaire est général ; il définit une démarche générale pour l'élaboration d'un programme de certification orienté facteurs humains sans préciser le détail des méthodes ni des moyens, autres que la présence d'un assistant FH dans l'équipe de certification ; le texte reste qualitatif, il a le mérite de définir les objectifs et le cadre qu'il convient de mettre en application par une condition spéciale pour chaque cas de certification.

L'interim policy ne mentionne pas de points ayant trait spécifiquement aux HUD, hormis le cas d'un HUD utilisé pour permettre l'atterrissage par mauvaise visibilité donné comme exemple de nouvelle technologie qui peut constituer une nouveauté.

Dans le cadre des réflexions du groupe d'harmonisation FH pour établir un texte définitif sur l'évaluation FH, plusieurs points ont été reprochés à ce texte :

- Sa portée est limitée à l'évaluation des nouveautés identifiées comme telles : il favorise donc une démarche en tout ou rien et le débat sur ce qui doit être ou non considéré comme nouveauté prend ainsi une importance singulière difficile à trancher.



- Pour chaque nouveauté identifiée, le texte impose des objectifs ambitieux, dont l'évaluation systématique et exhaustive des risques associés à chaque fonction du système. Il donne ainsi un pouvoir considérable aux autorités de certification, parfois difficilement conciliables avec les contraintes du programme de certification.
- En même temps, ce texte ne précise pas suffisamment quel est le niveau minimal de sécurité requis, et il ne peut donc être intégré en l'état dans la réglementation comme règle de certification.

Deux éléments importants sont venus modifier le contexte réglementaire depuis l'achèvement de la première tranche :

- Le transfert progressif à partir de fin 2003 de l'autorité européenne des JAA vers l'EASA, agence directement liée au parlement européen. Ce transfert s'accompagne d'une réédition des textes principaux (JAR et ACJ) en textes intégrés (CS/AMC) et harmonisés avec leurs homologues FAA. Les nouveaux textes sont publiés sur le site internet de l'EASA au fur et à mesure de leur réédition (<http://www.easa.eu.int>). L'arsenal réglementaire a ainsi gagné en clarté et en facilité d'accès. Il convient de noter que les textes JAR HUD 901, 902, 903 n'ont pas encore été réédités comme parties des CS AWO ; cette réédition devrait intervenir au fur et à mesure des transferts de compétences OPS des JAA vers l'EASA.
- La publication par l'EASA d'un projet de nouveau paragraphe CS 25.1302 et son AMC consacrés à l'évaluation FH des interfaces, en remplacement de l'interim policy des JAA. Ce nouveau texte est le fruit du groupe d'harmonisation FH entre européens et américains (HFHWG). Il formule des spécifications directement relatives à des caractéristiques du système qui sont aujourd'hui reconnues comme liés aux mécanismes de l'erreur humaine et à la capacité de sa détection et de sa récupération : clarté de l'interface (commandes et affichages), absence d'ambiguïté, accessibilité et utilisabilité en relation avec la tâche à effectuer, comportement prévisible et non ambigu, possibilité d'intervention. Il concentre ainsi les objectifs de l'évaluation FH sur des aspects accessibles à l'observation lors des essais. Son AMC précise les modalités de l'évaluation des aspects FH relatifs tant à ce nouveau paragraphe qu'à d'autres paragraphes existants de la CS 25, en tenant compte des contraintes de la certification. Cette évaluation peut ainsi devenir réellement partie intégrante du processus de certification. Ce document et son application au HUD sont discutés plus avant dans le projet de guide méthodologique publié dans le cadre de cette étude.

### **3.2.5. Evolution du contexte utilisateur**

L'évolution de la situation internationale et de nouveaux concepts sont à l'origine d'un nouvel engouement du marché HUD :

- L'ouverture de marchés dans des pays en voie de développement (Afrique, Asie) ainsi qu'en Australie suscite un besoin d'aides au pilotage pour les opérations sur terrains peu équipés ;
- Les syndicats de pilotes sont généralement demandeurs de cet équipement pour faciliter le pilotage et contribuer à la sécurité dans des situations couramment rencontrées (surveillance du trafic en VFR, approches de nuit, évitement d'orages,...) ;

- Le développement des compagnies low cost contribue probablement pour une part à un accroissement de la demande d'appareils équipés de HUD, qui autorisent une plus grande flexibilité d'utilisation ;
- Les HUD avec imagerie récemment certifiés aux Etats Unis puis en Europe sont susceptibles d'apporter une aide considérable dans des conditions de vol également courantes (brume, pluie fine, nuit noire,...) et en vol sans visibilité, en restaurant une vision extérieure quasi naturelle à travers un capteur ;
- Enfin, une demande existe dans le marché des avions d'affaires pour des équipements 'high tech' tels que le HUD, généralement pourvu de fonctions EVS.

Ces évolutions récentes ont notamment conduit Airbus à réviser sa position vis à vis du HUD : le HUD qui apparaissait comme un équipement facultatif pour des appareils capable d'atterrissage sans visibilité sur les aéroports les plus modernes est désormais considéré comme un équipement potentiellement intéressant pour des opérations dans des contextes plus disparates.

Un programme HUD a donc été lancé dès la conception de l'Airbus A380. Le HUD devrait ainsi être certifié comme un équipement intégré du cockpit, afin de pouvoir être proposé aux compagnies clientes. Cette conception intégrée ab initio dans la philosophie cockpit devrait contribuer à l'acceptabilité et à l'efficacité du HUD, et ainsi favoriser le développement du HUD.

Cette étude a été conduite en parallèle avec le programme de développement en cours chez l'industriel, à travers des réunions périodiques. L'industriel ayant émis le souhait de maintenir une séparation rigoureuse entre cette étude de recherche et le déroulement du programme de certification en cours, les réunions ont été tenues séparément avec Airbus d'une part ou avec les experts CEV ou SFACT d'autre part, conformément à la démarche convenue au début de l'étude.

Les réunions avec l'industriel ont consisté essentiellement en un recueil de l'avis des ingénieurs chargés du programme HUD sur les versions successives du guide communiquées en préparation de ces réunions. Il n'a pas été possible d'accéder à des informations techniques détaillées sur le programme HUD en cours, hormis les principes méthodologiques généraux adoptés pour la certification A380 en accord avec les autorités de certification (le CRI B-10).

### **3.2.6. La démarche d'élaboration**

La recommandation formulée lors de la première tranche de l'étude sur le contenu d'un guide méthodologique est la suivante :

- Rappels des textes existants concernant l'usage et l'évaluation des HUD
- Rappels de définitions et concepts liés au HUD
- Rappels sur les généralités FH des HUD :
  - Processus d'attention dans l'usage du HUD
  - Représentation spatiale du pilote
  - Spécificité du pilotage avec HUD
  - Interactions dans un cockpit HUD
- Méthodologie d'évaluation d'une symbologie HUD
  - Analyse de la tâche
  - Mise en situation
    - Scénario type pour l'investigation
    - Choix des sujets : profil et compétence, effectifs
    - Exploration des différents concepts d'emploi proposés

## Méthodes disponibles pour l'évaluation facteurs humains

L'étude a été conduite selon une démarche itérative : un premier projet de guide a été rédigé sur la base des conclusions et des recommandations de la première tranche de l'étude, puis il a été soumis successivement à relecture et commentaire des experts des services opérations et facteurs humains en charge du programme HUD chez l'industriel, des experts certificateurs du CEV et des experts de la réglementation au SFACT [Réf. 6 à Réf. 12].

Conformément à l'approche recommandée par les textes généraux en vigueur, les nombreux aspects qui peuvent faire l'objet d'une évaluation spécifique ont été classés en treize points de suspicion, cinq étant plutôt abordés en évaluation statique préalable, sur la base de la documentation papier ou de maquettes, les autres étant généralement évalués en simulation ou en essai en vol.

Diverses modifications de plan ont ainsi été apportées au fur et à mesure de l'élaboration de ce projet de guide, pour aboutir finalement au plan suivant :

1. Références disponibles concernant les HUD
2. Techniques ergonomiques pour la certification FH de HUD
3. Points de suspicion compatibles avec une évaluation statique préalable
4. Points de suspicion requérant une évaluation dynamique en situation

Les différents points de suspicion sont traités sous forme de fiches qui décrivent les problématiques associées à chaque point, citent les principales références réglementaires, et discutent des données observables, des méthodes d'évaluation ainsi que de leur interprétation des résultats de leur application.

Ce projet de guide publié à l'issue de cette étude est soumis à commentaires à différents experts du domaine ; il reste à confronter à l'expérience réelle de la certification.

### **3.3. Les nouveaux concepts**

#### **3.3.1. Le système HUD avec imagerie, EVS et SVS**

Ce concept fait l'objet de nombreux travaux de recherche depuis plusieurs décennies, mais il n'a été certifié sur avion commercial que très récemment. Le concept consiste à fournir au pilote une image du monde extérieur issue de capteur(s) opérant dans une bande de fréquence qui permet de restituer une vision artificielle alors que les conditions de visibilité naturelle sont défavorables.

Ces conditions peuvent être brouillard, neige, pluie, mais également des conditions non rares par beau temps, telles que brume ou nuit sombre. De par leur nature, certains capteurs (infra rouge) sont également susceptibles d'aider à la détection de trafic en vol ou de véhicules sur la piste, selon leurs caractéristiques thermiques.

Afin de s'approcher autant que possible de la vision naturelle, la présentation de cette imagerie de façon conforme au monde extérieur au moyen du HUD est une solution séduisante proposée par la plupart des équipementiers. L'EVS apparaît ainsi comme un complément "naturel" au HUD.

En supposant que la technologie utilisée permet effectivement le pilotage manuel (en fournissant une image quasiment temps réel, sans retard, avec un taux de rafraîchissement et un champ de vue suffisant), la vision à travers les capteurs a ceci de très novateur qu'elle permet d'envisager des

procédures similaires aux procédures VFR dans des conditions de vol qui imposeraient normalement des procédures IFR. Elle pose néanmoins des problèmes spécifiques non négligeables.

Si l'utilisation de l'imagerie pose des problèmes de fiabilité (panne possible de capteur dans une situation potentiellement délicate, risque d'affichage d'une image figée résiduelle dans le buffer graphique), ceux ci sont relativement simples dans la mesure où l'image est généralement indépendante d'autres sources (ce n'est pas le cas avec les capteurs radar qui nécessitent par exemple l'utilisation d'informations de position et de hauteur radio sonde afin de pouvoir restituer une image en perspective depuis le point de vue pilote).

La présentation d'images dans une bande de fréquence différente de celle de la vision naturelle pose naturellement la question de l'interprétation humaine de ces images. En effet, certaines composantes de l'image peuvent apparaître artificiellement lumineuses jusqu'à pouvoir provoquer des phénomènes d'éblouissements (cas de certaines lampes de pistes), ou a contrario, certains détails de la scène naturelle peuvent ne plus être visibles.

Cette question est d'autant plus délicate, qu'il apparaît délicat de compter sur une formation des pilotes à l'interprétation des images fournies notamment par les capteurs infra rouge : en effet l'image restituée dépend non seulement de la scène extérieure, mais également des conditions d'ensoleillement dans les heures précédentes. L'apparence d'une même scène peut ainsi varier considérablement et de façon imprévisible, selon les conditions météorologiques auxquelles elle a été exposée.

L'imagerie présentée en superposition à la vision extérieure peut également conduire à une baisse de la luminosité, jusqu'à gêner la vision extérieure lorsque la visibilité naturelle est déjà faible. Le réglage approprié de la luminosité est déterminant, et il semble recommandable que l'imagerie puisse être affichée ou non, au choix de l'utilisateur.

La sensibilité de la portée de certains capteurs en fonction des conditions atmosphériques (densité du brouillard, taux d'humidité,...) constitue aussi un problème potentiel. Ce problème est contourné pour les utilisations certifiées aujourd'hui, en appliquant des règles d'opérations similaires à celles qui sont appliquées pour décider de passer du vol VFR au vol IFR.

Une autre difficulté spécifique concerne la possibilité d'évaluer les dispositifs EVS en dehors d'essais en vol. En effet, les techniques actuelles de simulation d'images infra rouge en temps réel sont encore balbutiantes ; le réalisme des images générées en simulation doit donc être clairement évalué.

Faisant suite à de nombreux essais, un équipement HUD-EVS a finalement été certifié par la FAA sur l'avion d'affaire Gulfstream V, en septembre 2001.

Une règle FAA (*final rule*) publiée en janvier 2004 fixe les spécifications pour l'utilisation et la certification de ce type de système.

Cette règle considère que la vision à travers l'EVS supplée simplement la vision naturelle, et elle permet un crédit opérationnel : le minimum de l'avion en catégorie I peut être abaissé à 100 pieds, avec un concept désigné par les JAA comme « double décision » :

- la vision à travers l'EVS (*enhanced flight visibility*) doit être acquise avant la hauteur de décision (DH de 200 pieds minimum en cat. I) ;

- l'atterrissage doit être abandonné si cette vision est perdue avant 100 pieds ;
- la vision naturelle doit être acquise avant 100 pieds.

Cette règle porte modification des parties 1 (définitions) et 91 (opérations) de la FAR, ainsi que les parties 121, 125 et 135 qui leur font référence. L'application de la règle dans le cadre d'une certification requiert la publication d'un Issue Paper et d'une Condition Spéciale pour en préciser les modalités.

La question de l'entraînement requis pour l'utilisation de chaque équipement certifié trouve des éléments de réponse dans les rapports du Flight Standardisation Board (FSB) publié pour chaque nouvel appareil certifié, même si ces rapports n'ont que le statut de recommandations. Le rapport relatif au Gulfstream V a été établi sur la base de l'expérience acquise lors de plus de 50 approches effectuées dans le cadre des essais de certification ; il préconise en particulier un entraînement poussé sur les aspects suivants :

- au sol : transition de l'image EVS à la vision naturelle, en utilisant autant que possible des enregistrements vidéo réels, anomalies visuelles (saturation, bruit), importance des vérifications croisées entre la symbologie HUD et l'image EVS
- en vol : transition de l'image EVS à la vision naturelle, acquisition de la piste à travers l'imagerie, utilisation ou non de l'EVS, approches de précision ou non, de nuit et de jour, utilisation avec fort vent de travers.

Actuellement en Europe, le JAR OPS ne permet pas d'accepter ce concept pour réduire le minima opérationnel.

Dans le cas de la validation du Gulfstream, un CRI (F-21) a été publié, qui comporte notamment l'avis de Gulfstream en réponse aux questionnements des autorités.

La validation JAA de l'équipement sur le GVSP a finalement été limitée aux minima existants (DH) ; les JAA ont considéré que l'équipement ne faisait qu'apporter une amélioration de la conscience de la situation (*enhanced SA*) lors des opérations avec les minima existants, mais qu'il ne permettait pas un crédit opérationnel, en attendant une analyse de sécurité approfondie ainsi qu'un retour de la part des opérateurs ainsi pour aller plus loin dans l'harmonisation FAA-JAA.

### ***Directions de recherche***

Comme exposé précédemment, la preuve du concept de double décision pour permettre l'abaissement des minima lors des opérations par mauvaise visibilité sous EVS constitue un sujet de recherche toujours d'actualité.

D'autres voies de recherche sont actuellement explorées afin de s'affranchir de certaines limitations des technologies EVS actuelles :

- La fusion d'informations de capteurs de natures différentes, le développement de capteurs infra rouge multi bandes ; ces technologies contribueraient à rapprocher l'imagerie d'une vision naturelle de la scène extérieure ;
- L'affichage simultané d'informations issues d'une base de donnée numérique du terrain et des obstacles (SVS). Si les symboles traditionnels des HUD sont d'or et déjà requis par la réglementation en complément de l'EVS sur le HUD, ces informations synthétiques d'un tout autre

niveau de détail pose des problèmes complexes de fiabilité, de précision et d'actualisation, ainsi que des questionnements sur les présentations qu'il convient d'adopter. Différentes approches sont étudiées pour proposer des concepts possibles, conjuguant les avantages des différentes sources d'informations en les combinant ou en les corrélant.

Plusieurs projets de recherche ont déjà été conduits sur les aspects fondamentaux ; de nouveaux sont en préparation pour élaborer des démonstrateurs. Ainsi, l'ONERA, le DLR et Thalès préparent actuellement une proposition de projet dans le cadre du 6<sup>ème</sup> programme cadre européen, visant à démontrer la validité d'un concept EVS+SVS, pour les opérations par mauvaise visibilité, dont les phases de taxi sur les aéroports. L'ONERA participe pour la mise en œuvre des simulations ainsi que pour l'évaluation des aspects facteurs humains associés.

### **3.3.2. Le système HUD dual**

Ce concept consiste à équiper chacun des deux postes de pilotage d'un HUD.

Ce concept est particulièrement intéressant pour les avions de transport militaires, en permettant de dégager l'espace tête basse pour l'affichage des informations systèmes et tactiques. Il a ainsi été certifié par la FAA sur les avions L382J en 1997 et MD-17 en 1999, dérivés de modèles militaires.

Le concept constituant une nouveauté, ces deux cas de certification ont fait l'objet de la publication d'une condition spéciale.

Ces HUD dual sont certifiés comme instruments primaires de pilotage (PFD) pour toutes les phases de vol : il a ainsi été démontré que le pilotage (en tant que contrôle manuel de l'avion ou surveillance des automatismes chargés de ce contrôle, sans inclure les tâches de navigation, communication, surveillance des systèmes,...) peut être effectué depuis chacun des postes de pilotage sans recours aux instruments tête basse.

Le concept dual constitue réellement une nouveauté, en raison de ses conséquences sur le partage des informations et des tâches au sein de l'équipage. En particulier, le HUD est à ce point séduisant qu'il est légitime de penser que l'usage simultané du HUD par chacun des membres de l'équipage est à tout le moins probable (comme le sont évaluées les erreurs humaines) lors de certaines phases de vol. Ceci peut constituer une faille potentielle, à évaluer selon le niveau de fiabilité et l'indépendance des sources de chacun des HUD.

A ce propos, pour les HUD postulants comme PFD, la réglementation spécifie :

*The display of hazardously misleading information on more than one primary flight display is classified as a catastrophic failure and must be extremely improbable (...).*

Certains experts estiment ainsi qu'il devrait être prévu un moyen matériel d'exclure une utilisation simultanée des deux HUD. La FAA a choisi de considérer que la tâche de surveillance de la validité des informations qu'il utilise –notamment par vérifications croisées – reste un impératif fondamental des capacités de l'équipage, quel que soit la technologie disponible, et qu'il n'y a donc pas lieu de sur réglementer.

Lorsqu'il est prévu que les écrans tête basse puissent être utilisés pour afficher des informations autre que primaires de pilotage (cas du MD-17), la FAA requiert que ces informations puissent être affichées immédiatement sur action du pilote et dans un format directement compatible de celui des HUD, notamment en cas de défaillance HUD, de conditions d'éclairage défavorable à son utilisation

(soleil rasant), ou de récupération d'attitude inusuelle. Ce concept peut également poser problème pour la reconnaissance des alarmes, en particulier tant que les HUD sont monochromes.

En conclusion, ce concept de HUD dual soulève certaines difficultés spécifiques, pour certaines déjà rencontrées dans la problématique des HUD certifiés en tant que PFD. La spécificité du HUD dual réside dans ces conséquences sur le travail en équipage, et elle relève donc autant de la certification que de l'approbation opérationnelle.

Il est possible d'imaginer que l'utilisation de systèmes HUD dual exacerbe les difficultés propres aux HUD simples, telles que focalisation d'attention et détection de pannes. Ces difficultés sont déjà identifiées et abordées dans les formations des commandants de bord qualifiés sur appareil équipé de HUD. Un entraînement renforcé des équipages face aux pièges potentiels de ce concept sera sans aucun doute à recommander, à défaut de solution matérielle excluant l'usage simultané des HUD.

### **3.3.3. Autres technologies émergentes**

L'apparition de plusieurs nouvelles technologies devraient permettre le développement de nouveaux concepts et de problématiques associées pour leur certification :

- Les technologies à cristaux liquides (LCD), outre un gain considérable de poids et d'encombrement, autorisent le développement de HUD polychromes et un contrôle précis de la luminosité de chaque pixel particulièrement intéressant pour les applications utilisant des images issues de capteurs ;
- Les techniques d'holographie combinées avec l'utilisation de données synthétiques devraient contribuer au développement de HUD présentant des images 3D de réalisme croissant, une fois résolus les délicats problèmes de fiabilité et de précision de ces données synthétiques.

Au delà de l'aspect séduisant de ces technologies, leur intégration pour constituer des interfaces cohérentes et robustes du point de vue de leur utilisation reste la vraie difficulté pour les concepteurs, autant que pour les certificateurs qui auront à procéder à leur évaluation, en imaginant les conséquences possibles de leur utilisation régulière, notamment sur le plan des besoins de formation et d'entraînement, des savoir-faire et des facultés de perception des utilisateurs.

## **4. Conclusion**

Cette étude a permis dans sa première tranche d'établir un bilan complet des problématiques et des pratiques associées aux collimateurs tête haute, puis dans cette seconde tranche, d'établir un projet de guide méthodologique pour leur évaluation, à l'usage des certificateurs.

Ce projet reste à confronter à l'expérience réelle de la certification et à faire évoluer pour accompagner l'avancée rapide des technologies susceptibles de modifier radicalement les pratiques de pilotage, en permettant le développement de nouveaux concepts de systèmes HUD dont certains ont également été évoqués dans ce rapport.

## Remerciements

Ont participé à la réflexion et aux entretiens menés pour cette étude :

SFACT : Stéphane Deharvengt, Jean Baron, Odile Turret

CEV : Didier Poisson, Thienh-Anh Deville, Jean-Jacques Leblond

AIRBUS : Florence Reuzeau, Catherine Isaac, Delphine Blais, Yves Saint-Upéry

Nous les remercions pour leurs relectures et leurs commentaires constructifs.



## Annexe 1 : Abréviations

A/P	Autopilot
AC	Advisory Circular
ACJ	Advisory Circular, Joint
AMC	Acceptable Means of Compliance (EASA)
AMJ	Advisory Material Joint
ARP	Aerospace Recommended Practice (SAE)
AS	Aerospace Standard (SAE)
AWO	All Weather Operations
CEV	Centre d'Essais en Vol
CRI	Certification Review Item
CS	Certification Specifications
DCSD	Département Commande des Systèmes et Dynamique du vol
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DH	Decision Height
EASA	European Aviation Safety Agency
EFIS	Electronic Flight Instrument System
EFVS	Enhanced Flight Vision Systems
EGPWS	Enhanced Ground Proximity Warning System
EVS	Enhanced Vision System
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
FHA	Functional Hazard Assessment
FMS	Flight Management System
FSB	Flight Standardization Board
GLS	GNSS Landing System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HFDS	Head-up Flight Display System (® Sextant)
HGS	Head-up Guidance System (® Flight Dynamics)
HUD	Head Up Display
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Instrument Landing System
IMASSA	Institut de Médecine Aéronautique du Service de Santé des Armées
IMC	Instrument Meteorological Conditions
JAA	Joint Aviation Authorities
JAR	Joint Aviation Requirements
LVP	Low Visibility Procedure
NPA	Notice of Proposed Amendment
PFD	Primary Flight Display
POC	Proof of Concept
SAE	Society of Automotive Engineers
SFACT	Service de la Formation Aéronautique et du Contrôle Technique
SMGCS	Surface Movement Guidance and Control System
SVS	Synthetic Vision System
TCAS	Traffic Collision Avoidance System
VFR	Visual Flight Rules
VGS	Visual Guidance System (® BAe Systems)
VMC	Visual Meteorological Conditions

## Annexe 2 : Références contractuelles

- Réf. 1 DGAC/SFACT  
*Recherche pré normative sur la sécurité de l'aviation civile*  
Programme fonctionnel DGAC/SFACT (7 octobre 1998).
- Réf. 2 DGAC/SFACT  
Notification du marché n°99.50.074.00.227.75.0. Réalisation de travaux en vue de maintenir la sécurité du transport aérien à un niveau acceptable. Lot 3 : symbologie HUD.  
Contrat N°21320 – SFACT/AEF du 23 juin 2000, reçu le 03 juillet 2000.
- Réf. 3 Le Blaye P., Roumes C., Fornette M.P., Valot C.  
*Symbologie des collimateurs tête haute (HUD) : étude pré réglementaire pour le SFACT.*  
Rapport final de la première tranche. Rapport technique ONERA 1/05007, décembre 2001.
- Réf. 4 Le Blaye P., Roumes C., Fornette M.P., Valot C.  
*Head Up Displays symbology (HUD) : a pre normative study for DGAC/SFACT.*  
Technical Report 2/05007, June 2002.
- Réf. 5 Avenant n°2 au marché SFACT n°99.50.074, notifié le 30 décembre 2003.
- Réf. 6 Compte-rendu de la réunion de démarrage de la seconde tranche de l'étude SFACT HUD.  
IMASSA Brétigny, 9 février 2004.
- Réf. 7 Compte-rendu de la première réunion de travail dans le cadre de l'étude SFACT HUD.  
AIRBUS Saint-Martin, 2 mars 2004.
- Réf. 8 Compte-rendu de la réunion avec les experts DGAC/SFACT/N et CEV, 8 avril 2004.
- Réf. 9 Compte-rendu de la seconde réunion de travail dans le cadre de l'étude SFACT HUD.  
AIRBUS Saint-Martin, 11 mai 2004.
- Réf. 10 Compte-rendu de la troisième réunion de travail dans le cadre de l'étude SFACT HUD.  
AIRBUS St Martin, 7 septembre 2004.
- Réf. 11 Compte-rendu d'entretien avec pilote d'essai. CEV Toulouse, 25 novembre 2004.
- Réf. 12 Etude pré-normative SFACT "symbologies HUD". Présentation à la journée d'études Facteurs Humains du SFACT. DGAC Paris, 22 février 2005.

## **Annexe 3 : Références réglementaires**

### **Documents EASA**

#### ***CS/AMC 25. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes. European Aviation Safety Agency, October 17, 2003.***

Ce texte regroupe en un document unique les anciens textes JAR/AMJ 25, AMC 25-11,...

Les règles de base de la certification applicables aux HUD sont notamment :

*25.773 Pilot Compartment View*

*25.777 Cockpit Controls*

*25.1301 Function and installation*

*25.1303 Flight & Navigation Instruments*

*25.1309 Equipment, systems and installation*

*25.1321 Instruments: Arrangement & Visibility : the "Basic T".*

*25.1323 Airspeed Indicating System*

*25.1331 Instruments Using a Power Supply*

*25.1333 Instrument Systems*

*25.1335 Flight Director Systems*

*25.1381 Instrument Lights*

*25.1523 Minimum flight crew*

#### ***NPA n°15/2004. Notice of Proposed Amendment - Humans Factors. CS/AMC 25.1302. Installed systems and equipment for use by the flight crew. European Aviation Safety Agency, January 21, 2004.***

Il s'agit du nouveau règlement élaboré par le groupe d'harmonisation FH des JAA (HFHWG) : le nouveau paragraphe CS 25.1302 et son AMC, actuellement en cours d'approbation par l'EASA en même temps qu'à la FAA.

#### ***CS-AWO. Certification Specifications for All Weather Operations. European Aviation Safety Agency, October 17, 2003.***

### **Réglementation JAA**

Seuls sont mentionnés les textes JAA non encore réédités par l'EASA.

#### ***JAA project of interim policy : Human Factors Aspects of Flight Deck Design. INT/POL/25/14, Issue 2, March 15, 2001.***

Ce document vise à définir les règles de certification spécifiques aux facteurs humains, à appliquer lors de l'introduction dans le cockpit d'une nouvelle fonctionnalité (*novel feature*).

Ce document était requis dans l'attente d'un règlement définitif élaboré par le groupe d'harmonisation FH des JAA (HFHWG) : le nouveau paragraphe CS 25.1302 et son AMC, en cours d'approbation par l'EASA en même temps qu'à la FAA.

#### ***CRI B-10. A380 Certification Review Item. JAA, issue 2, January 6, 2003.***

Ce document précise les modalités d'application de l'interim policy JAA 25/14 pour la certification de l'Airbus 380.

#### ***JAR AWO : All Weather Operations. Change 2, August 1<sup>st</sup>, 1996.***

Ce document traite des opérations sans visibilité, et notamment de l'utilisation d'un HUD hybride pour les opérations de catégorie III (sous partie 3).

Il définit le concept de système hybride opérationnel après panne et il spécifie que ce système doit satisfaire les exigences de performance globales, sans que HUD doivent forcément satisfaire les mêmes critères que le système primaire.

#### **JAR HUDS 901 : Category 3 Operations with a Head Up Display. Issue 18, April 11, 1994.**

Traite d'un HUD symbolique et conforme utilisé pour le pilotage manuel des opérations de cat. III (l'utilisation hybride est couverte par la sous partie 3 de la JAR AWO) : le HUD est utilisé par le pilote aux commandes tandis que l'autre pilote surveille l'approche en tête basse.

Ce document fournit les spécifications d'un tel HUD, selon une organisation fonctionnelle, et il donne les critères et méthodes à utiliser pour sa certification.

#### **JAR HUDS 902 : Category 2 Operations with a Head Up Display. Issue 8, April 26, 1995.**

Ce texte fournit les spécifications, critères et méthodes pour la certification d'un HUD unique pour les approches de cat. II, l'autre pilote surveillant l'atterrissage en tête basse.

#### **JAR HUDS 903 : Interim Policy – Head Up Displays. Issue 7, April 30, 1997.**

Applicable sous la JAR 25, ce texte concerne des HUD sans imagerie, mais non nécessairement conformes, utilisés comme moyen primaire ou secondaire (complément des informations primaires présentées en tête basse), pour le pilotage manuel ou la surveillance du pilote automatique.

La non augmentation de la charge de travail est retenue ici comme la première exigence.

Ce texte aborde la plupart des problèmes spécifiques au HUD : charge de travail, focalisation d'attention, risques de confusion, modes, clutter, limites de champ, compatibilité avec la tête basse, conséquences pour le travail en équipage, détection des pannes et alarmes, ..

Il met en avant la nécessité de constituer la symbologie en fonction de l'appareil et de l'utilisation visés, ce qui semble en effet une approche plus satisfaisante que de chercher à fixer un standard indépendamment du contexte d'utilisation.

#### **JAR-OPS Part 1. Commercial Air Transportation (Aeroplanes). Amendment 8, January 1, 2005.**

Ce texte concerne la démonstration opérationnelle, à établir par l'exploitant avant mise en opérations d'un système nouvellement certifié, ainsi que le cadre de la formation des pilotes.

Il définit les minimums, équipements et qualifications requis pour procéder aux opérations tous temps (classique, I, II, IIIA et IIIB). Il définit également les concepts d'instruments hybrides et secondaires utilisables pour ces opérations.

#### **JAR-OPS Section 4, Part 3. All Weather Operations with Head Up Display Guidance Systems (HUD). Temporary guidance leaflet n°20, February 01, 1999.**

Ce texte apporte des recommandations sur l'utilisation de HUD comme moyen de guidage (atterrissage manuel) ou de surveillance (HUD hybride) dans les opérations avec faible visibilité (catégories II et IIIA).

Les procédures pour HUD hybrides sont données dans le JAR OPS 1, sous partie E. Cette section fournit seulement des compléments sur la formation et l'entraînement des équipages pour l'utilisation du HUD hybride.

Le texte requiert que la compagnie mette en place un dispositif de suivi de la performance du système de guidage HUD de chaque avion. Il spécifie également les programmes d'entraînement nécessaires, qui doivent comporter notamment une description de la symbologie et de ses relations avec le monde extérieur, avec la réponse de l'avion, avec les alarmes relatives à l'environnement. Les procédures doivent spécifier la répartition des tâches au sein de l'équipage.

## **JAA. Gulfstream Model GV-SP Enhanced Vision System Certification Review Item. CRI F-21, May 8, 2003.**

### **Réglementation FAA**

Seuls sont mentionnés les textes sans équivalents dans la réglementation européenne.

#### **FAA AC 120-28D. Criteria for Approval of Category III Weather Minima for Takeoff, Landing and Rollout. July 13, 1999.**

Ce texte très complet fournit des critères pour la certification des HUD pour les opérations en catégorie III.

Le HUD utilisé en manuel doit présenter des informations de guidage et être 'fail passive', c'est à dire qu'une défaillance du HUD ne doit pas conduire à une déviation significative de la trajectoire avant détection et transition avec un autre système.

Le texte aborde aussi le HUD utilisé en système hybride (*e.g., a fail passive autoland system used in combination with a monitored HUD flight guidance system*) : le pilote automatique est le système primaire et le HUD sert à la surveillance et au guidage si un retour en manuel est nécessaire. La transition de l'automatique au guidage manuel fait l'objet de recommandations précises.

L'appendice 2 traite les décollages sans visibilité, avec des recommandations sur les HUD :

- a) la charge de travail doit satisfaire à la section 25.1523
- b) le HUD ne doit pas obscurcir la vue extérieure de façon significative
- c) sauf défaillance du HUD, il ne doit pas y avoir besoin de retour sur un autre instrument pendant tout le décollage ou en cas d'arrêt décollage.
- d) l'utilisation du HUD ne doit pas demander plus de travail ou d'habileté que celle d'un autre instrument.
- e) les modes du HUD et du PA doivent être affichés clairement dans le HUD, à moins qu'il ne soient affichés ailleurs de façon acceptable...
- f) la seule présentation de l'écart latéral semble insuffisante : une démonstration du concept (POC) est nécessaire si le HUD présente des informations brutes sans guidage.
- g) si il n'y a qu'un HUD, celui-ci doit se trouver en place gauche (CDB).

L'appendice 3 concerne l'atterrissage et le roulage en cat. III. Elle donne des éléments sur les critères applicables et le choix de pilotes pour la certification des HUD en particulier. Des recommandations détaillées sont données pour la certification des HUD utilisés comme moyen de guidage ou de surveillance. Comme pour le décollage, l'absence de guidage est jugée inacceptable sauf POC. Un chapitre traite spécifiquement de la certification des HUD hybrides, qui sont soumis aussi à POC, tout comme l'EVS.

#### **FAA AC 120-29A. Criteria for Approval of Category I and Category II Weather Minima for Approach. Draft 18, 1999.**

Ce texte donne les conditions, performances, équipements, procédures, entraînement et qualifications (dont HUD) nécessaires pour procéder aux approches en cat. I et II.

Il comporte des spécifications sur les HUD, utilisé pour guidage ou surveillance. Il spécifie en particulier que le HUD utilisé en manuel doit fournir des informations de guidage (directeur de vol) ; dans ce cas, des informations de situation (écarts bruts ILS) doivent tout de même être présentées.

Les systèmes hybrides (HUD comme moyen de surveillance et de réversion) sont également acceptables s'ils fournissent le même niveau de performance et de sécurité que le système avec guidage.

#### **FAA Memorandum. POLICY: Airspeed Displays for Electronic Flight Instrument Systems (EFIS). February 25, 1992.**

Ce memorandum complète l'AC 25-11 (7.d) ; il concerne un problème de perception de la vitesse sur EFIS lié à une échelle de vitesse avec graduation mobile.

Cette échelle comporte des indications de vitesses minimales et/ou maximales (placards) qui sont indépendantes de la masse et de la configuration (volets,..) : cela est jugé inacceptable.

**FAA Memorandum. POLICY: Low and High Speed Awareness Cues for Linear Tape Airspeed Displays. September 12, 1996**

Ce memorandum donne des compléments sur la nature, la forme et la couleur des placards à présenter. Il spécifie que : l'indication de vitesse minimale doit prendre en compte le facteur de charge (en plus de la masse, de la configuration, de l'altitude..), l'indication de vitesse maximale doit tenir compte de la sortie des éléments.

**FAA Policy memo ANM-99-2. Guidance for Reviewing Certification Plans to Address Human Factors for Certification of Transport Airplane Flight Decks. September 29, 1999.**

Provides a comprehensive review and practical methods to insure that the certification plan addresses human factors.

**FAA Policy memo ANM-01-03. Factors to Consider When Reviewing an Applicant's Proposed Human Factors Methods of Compliance for Flight Deck Certification, Feb 14, 2001.**

A revised and augmented version of ANM-99-2.

**FAA Notice N 8110.98. Addressing Human Factors/Pilot Interface Issues of Complex Integrated Avionics as Part of the Technical Standard Order Process. Oct. 10, 2002.**

**FAA. Enhanced Flight Vision Systems. Final rule. FAA-2003-14449, Jan. 9, 2004.**

*The FAA is revising its regulations for landing under instrument flight rules to allow aircraft to operate below certain specified altitudes during instrument approach procedures, even when the airport environment is not visible using natural vision, if the pilot uses certain FAA-certified enhanced flight vision systems. This action informs the public and the aviation industry of the approval of the use of new technology for certain operational benefits. DATE: Effective February 9, 2004.*

**FAA (2002). Gulfstream Model GV-SP, System installation and human factors on Head-Up Display (HUD). FAA Issue Paper S-13, July 2002.**

**FAA. Gulfstream Model GV-SP, System installation and human factors on Enhanced Vision System (EVS). FAA Issue Paper S-15, Aug. 30, 2002.**

## **Documentation SAE**

**SAE AIR 4742. Display Characteristics of FDI Head-Up Guidance System as Approved for the B-727 Airplane. March 1998.**

*The scope of this document is limited to descriptions of the display characteristics of the Flight Dynamics, Inc. (FDI) Model 1000WS Head up Guidance System (HGS) as installed on the Boeing 727 airplane and certified by the Federal Aviation Administration for use in Category III landing operations. The symbology depicted in this document is referenced to the particular pilot task(s) for which it was designed. Also included are descriptions of operational features of the particular symbol along with any associated criteria regarding symbology constraints, source data, or position error.*

Ce document décrit en détail les symboles présentés sur un HUD Flight Dynamics certifié sur B 727 pour des atterrissages en cat. III. Chaque symbole fait l'objet d'une fiche dont le canevas peut servir de référence pour la description d'autres symbologies.

### **SAE ARP 4102/8. Flight Deck, Head-Up Displays. November 1998.**

*This document recommends criteria for the design and installation of Head-Up Display (HUD) systems. The recommendations are applicable to HUD systems which display flight information focused at infinity in the forward field of view. This annex does not address devices for peripheral vision or displays worn by the pilot, nor the presentation of EVS information.*

Ce document recommande que la symbologie HUD soit conforme dans les situations usuelles, que le nombre de mode reste limité, et que le mode soit clairement indiqué. Les modes principaux peuvent être : décollage, croisière, approche et roulage.

Il précise la liste des informations de base à présenter : attitude, cap courant et sélectionné, vecteur vitesse, vitesse air avec ses limites basse et haute, altitude, vitesse verticale, mode, guidage et accélération latérale. Et en option : incidence, altitude radio sonde et pente potentielle.

La disposition doit respecter le T basic ; attitude, cap et trajectoire doivent être conformes.

En mode d'approche à vue, le HUD doit présenter en plus la pente sélectionnée.

En mode d'approche ILS, le HUD doit présenter en plus ILS, DH et guidage pour l'arrondi.

En mode roulage, le HUD doit présenter un guidage en direction, l'accélération sur trajectoire et les vitesses de référence.

La dimension des caractères alphanumériques ne doit pas être inférieure à 10 mrad (info. primaires) ou à 6 mrad (secondaires).

### **SAE ARP 4155, Human Interface Design Methodology for Integrated Display Symbology. October 1997.**

*The recommended design approach described in this report emphasizes the fundamental relationship between symbols, the information they encode, the context within which the symbols are displayed, and the tasks being supported. While this document is aimed at aircraft displays involving dynamic control or monitoring tasks, the methodology is applicable to a wide range of symbology development situations.*

Ce document propose une méthodologie pour la conception des symbologies. Il fournit les définitions de termes clefs d'une approche 'facteurs humains' des symbologies.

Les symboles doivent satisfaire 3 critères :

- a) transmettre l'information qu'ils représentent sans introduire de biais ;
- b) permettre, en combinaison avec les autres symboles, de réaliser la tâche avec la performance voulue ;
- c) ne pas interférer avec d'autres symboles ou d'autres tâches.

Cette méthodologie repose sur l'hypothèse que l'association tâche-symbole est favorable. Elle utilise une analyse de tâche et un arbre de décision.

### **SAE ARP 5288. Transport Category Airplane Head Up Display (HUD) Systems. Draft 12, January 19, 2000.**

Ce document important constitue un projet de réglementation américaine spécifique au HUD, largement repris dans les textes actuellement en vigueur, y compris européens.

Il distingue 3 types d'applications du HUD :

- Supplemental use : le HUD vient en supplément de la tête basse. Exemple : apport d'informations lors d'une approche manuelle VFR.
- Alternate use : le HUD peut être utilisé à la place de la tête basse. Exemple : surveillance d'une approche automatique.
- Additional credit use : le HUD est utilisé à la place de la tête basse et permet d'augmenter les capacités opérationnelles de l'avion.

NB : un même HUD peut être certifié pour des applications différentes selon la phase de vol.

Dans les deux dernières applications, les informations de pilotage primaires doivent apparaître sur le HUD. Ces informations sont au minimum, celles de la FAR 25.1321 (basic T). Les autres informations requises sont fonction de la phase de vol.

Le chapitre 7 traite le choix des informations et contient des adaptations des textes réglementaires aux spécificités des HUD :

- La disposition en T basique est exigée sauf preuve contraire. Des exemples de déviations acceptées sont donnés : échelle de vitesse verticale entre altitude et attitude, information de cap en bas plutôt qu'en haut, vitesse air mobile à côté du vecteur vitesse.
- Les problèmes liés aux informations de tangage sont abordés. L'horizon doit rester dans le champ. (Le paragraphe 10.4 spécifie les méthodes de tests de situations inusuelles.)
- La présentation d'un vecteur vitesse est considérée comme essentielle. Celui-ci peut être de nature inertielle ou aérodynamique, et il est possible d'alterner selon la phase de vol.
- Les informations requises par la FAR peuvent n'être présentées que dans certaines phases de vol, sous réserve de démonstration (*part-time display*).

Le chapitre 8 aborde :

- la forme et la position des symboles ; il insiste sur l'intérêt de la standardisation.
- le *clutter*, mais ne donne pas de critères précis (8.3).
- les moyens d'attirer l'attention visuelle (8.4).
- la compatibilité entre tête haute et tête basse (8.5).

Le chapitre 9 aborde les affichages de mode, des sources d'information et des alarmes.

Le chapitre 10 donne des considérations sur les évaluations concernant notamment la variabilité de la performance humaine, la durée et le choix des pilotes pour le programme d'évaluation, les limites de la simulation et les critères de récupération de situations inusuelles.

Enfin, un glossaire de notions spécifiques aux HUD achève le document.

### **SAE AS 8055. Minimum performance Standard for Airborne Head Up Display. March 1999.**

*This SAE Aerospace Standard (AS) specifies minimum performance standards for airborne binocular Head Up Displays (HUDs) in fixed wing aircraft. This document covers criteria for conformal and non-conformal HUD systems that are intended for use in the cockpit by the pilot or copilot. Display minimum performance characteristics are specified for standard and other environmental conditions for the purpose of product qualification. This document does not address sensor imaging systems, displays worn by the pilot (goggles, helmet mounted displays) or specific symbology to be displayed.*

Ce document donne des spécifications détaillées et chiffrées des caractéristiques géométriques, optiques (y compris pour les HUD présentant une imagerie) et technologiques du HUD. Il ne précise pas la forme des symboles ni la nature des informations à présenter.

### **SAE ARP 4761. Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment. December 1996**

*This document describes guidelines and methods of performing the safety assessment for certification of civil aircraft. It is primarily associated with showing compliance with FAR/JAR 25.1309. The methods outlined here identify a systematic means, but not the only means, to show compliance. A subset of this material may be applicable to non-25.1309 equipment. The concept of Aircraft Level Safety Assessment is introduced and the tools to accomplish this task are outlined. The overall aircraft operating environment is considered. When aircraft derivatives or system changes are certified, the processes described herein are usually applicable only to the new designs or to existing designs that are affected by the changes. In the case of the implementation of existing designs in a new derivation, alternate means such as service experience may be used to show compliance.*

Ce document décrit le processus d'analyse de sécurité depuis la conception initiale de l'avion jusqu'à sa certification. Il n'est pas spécifique au HUD et n'aborde pas le problème spécifique de l'évaluation FH des interfaces.

### **SAE ARP 4754. Certification Considerations for Highly-Integrated Or Complex Aircraft Systems. November 1996**



*This document discusses the certification aspects of highly-integrated or complex systems installed on aircraft, taking into account the overall aircraft operating environment and functions. The term "highly-integrated" refers to systems that perform or contribute to multiple aircraft-level functions. The term "complex" refers to systems whose safety cannot be shown solely by test and whose logic is difficult to comprehend without the aid of analytical tools.*

*The guidance material in this document was developed in the context of Federal Aviation Regulations (FAR) and Joint Airworthiness Requirements (JAR) Part 25. It may be applicable to other regulations, such as Parts 23, 27, 29 and 33. In general, this material is also applicable to engine systems and related equipment. Final regulatory approval of all systems is assumed to be accomplished in conjunction with an aircraft certification.*

### **SAE ARP 5287. Optical Measurement Procedures for Airborne Head-Up Display (HUD). March 1999**

*This SAE Aerospace Recommended Practice (ARP) contains methods used to measure the optical performance of airborne binocular Head Up Displays (HUDs). This document covers methods for conformal and non-conformal HUD systems that are intended for use in the cockpit by the pilot or copilot. The focus of this document is on displays that generate the HUD information using a cathode ray tube (CRT), however, the majority of the methods can be applied to other display technologies. These measurement methods are provided for testing to the requirements of AS8055. This document does not address measurement methods for sensor imaging systems, or displays worn by the pilot (goggles, helmet mounted displays).*

*This document has been prepared primarily for electronic systems which, by their nature, may be complex and are readily adaptable to high levels of integration. However, the guidance provided in this document may be considered for other aircraft systems.*

*This document addresses the total life cycle for systems that implement aircraft-level functions. It excludes specific coverage of detailed systems, software and hardware design processes beyond those of significance in establishing the safety of the implemented system. More detailed coverage of the software aspects of design are dealt with in RTCA document DO-178B and its EUROCAE counterpart, ED-12B. Coverage of complex hardware aspects of design are dealt with in RTCA document DO-xxx, (working title: "Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware,") currently under development by RTCA special Committee SC-180. Methodologies for safety assessment processes are outlined in ARP4761. Figure 1 outlines the relationships between the various documents which provide guidance for system development, safety assessment, and the hardware and software life-cycle processes.*

*This document is intended to be a guide for both the certification authorities and applicants for certification of highly-integrated or complex systems, particularly those with significant software elements. As such, the focus is toward ensuring that safety is adequately assured through the development process and substantiating the safety of the implemented system. Specific guidance on how to do the substantiation work is beyond the scope of this document, though references are provided where applicable.*

### **SAE ARD 50019. Human Engineering Issues for Enhanced Vision Systems. March 1995.**

*The scope of this document is limited to EVS human factors issues, problems, and requirements for implementation (both historical and currently open). Any overlap into logic problems or hardware/software design should be considered to be incidental to the human factors research issues. When the performance characteristics of specific technologies are relevant they will be identified. Otherwise, the document attempts to be independent of candidate technologies and concentrate on human interface criteria. This document is a compilation of human factors issues regarding EVS. It is intended that the document be a living report of the human factors 'health' of EVS as well as provide a historical perspective of the issues that have been considered. It will be updated to reflect research and*

*development activities and as the technology improves and applications expand, the breadth of issues covered will be expanded. It is worthwhile pointing out that the technology in this area is advancing rapidly and a number of issues will be amended within 1 year of initial publication.*

## **Annexe 4 : Compléments de bibliographie commentée**

Cette bibliographie vient en complément de la bibliographie publiée dans le rapport de synthèse de la première tranche de l'étude.

### **HUD général**

#### **Dekker S. Human factors in certification. A book review. The International Journal of Aviation Psychology. vol. 13, number 1, 2003.**

Cette critique de livre insiste sur les approches possibles pour la certification : bottom-up, la plus couramment pratiquée, et top-down, la plus difficile, voire illusoire. Ces approches soulèvent d'emblée la difficile question de la complexité : comment peut-on certifier que les qualités certifiées pour des systèmes pris individuellement garantissent une même qualité au système global ? La réponse n'est pas encore connue, le livre se limitant de fait à un état de l'art et des questions liées à la certification.

#### **Dubey G. Social Factors in Air Traffic Control Simulation. CETCOPRA, University Paris I, July 2000.**

Discute les problèmes spécifiques à l'évaluation sur simulateur, dans le domaine ATC, mais valable également pour l'évaluation des interfaces. Le simulateur est un espace d'apprentissage, de fait, ce qui n'est certes pas l'objectif de la certification. Les implications en terme de gestion du risque, du temps, sont fondamentales. La fidélité opérationnelle, et non seulement technique ou physique, est donc critique.

#### **Kerhervé Y., Conception du cockpit d'un avion de combat - Lettre de l'ANAE (Académie Nationale de l'Air et de l'Espace). March 2001.**

#### **Klopfstein G. Autour d'une polémique. Icare n°82, septembre 1977.**

#### **McCann R.S., Foyle D.C. and Johnston J.C. Attentional Limitations with Head-Up Displays. In R.S. Jensen (Ed.), Proceedings of the Seventh International Symposium on Aviation Psychology, 70-75. 1993**

Cet article décrit une expérimentation qui teste l'hypothèse d'un coût de la transition d'attention entre les éléments de symbologie du HUD et le monde extérieur, bien que le HUD soit collimaté. Ce coût est évalué à 150 ms. L'article se conclue sur la recommandation de favoriser les éléments de symbologies conformes (possédant les mêmes caractéristiques de comportement selon Gestalt – vitesse, couleur) au monde extérieur autant que possible.

#### **Newman T.P, Courteney H. La difficulté de définir des normes pour prendre en compte les facteurs humains dans la certification des aéronefs. Journal de l'OACI, avril 1998.**

#### **Nikolic M.I., Orr J.M. & Sarter N.B. Why pilots miss the green box : how context undermines attention capture. The International Journal of Aviation Psychology, 14(1), 39-52, 2004.**

The results of this simple study highlights the facts that signal onsets may be missed, depending on the display context,...

#### **Singer G. Filling the gaps in the human factors certification net. Saab Commercial Aircraft, in Coping with Computers in the Cockpit, edited by Sidney Dekker and Erik Hollnagel. 1999.**

This paper discusses the lacks in the current regulation concerning objective methods for human factors validation. It provides several examples on the CDU/FMS issue. The HUD validation method used by JAA is

described as a good example of how more objective methods (namely HQRS, pass/fail experiments) can be used, involving pilots of varying background and level, and combining compliance with airworthiness and operational requirements.

**Tourdjman C. L'instrumentation du troisième millénaire. juillet 2003.**

**Wickens C. D., Alexander A. L., Horrey W. J., Nunes A., Hardy T. J. Traffic and Flight Guidance Depiction on a Synthetic Vision System Display: The Effects of Clutter on Performance and Visual Attention Allocation. Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, 2004.**

**Wickens, C. D. Attentional tunneling and task management. Proceedings of the 13th International Symposium on Aviation Psychology. Dayton, OH, April 18 – 21, 2005.**

**Wickens, C.D. and Ververs, P.M. Allocation of Attention With Head-Up Displays. FAA Office of Aviation Medicine, Report No: DOT/FAA/AM-98/28, November 1998.**

*Two experiments examined the effects of display location (head up vs. head down) and image intensity/clutter on flight path performance and mid-air target detection in a general aviation cruise flight environment. In Experiment 1, a low-fidelity simulation, both near-domain and far-domain instrumentation were presented at the same optical distance. Detection of commanded flight changes and maintenance of desired flight path flight were generally better in the head-down condition, an advantage attributed to the superior image contrast ratios in that condition. In contrast, target detection was superior with the head-up display, reflecting an attentional trade-off. Experiment 2 was performed with pilots viewing far-domain imagery (and airborne targets) on an Evans and Sutherland display positioned near optical infinity, head-up display (HUD) imagery at the same optical distance, and head-down imagery at a near distance typical of the instrument panel. The degree of clutter was also varied and image contrast ratios were equated between head-up and head-down viewing conditions. Flight performance was equivalent between the HUD and head-down locations. However, detection of both near-domain events (commanded changes) and far-domain targets was better in the HUD condition, revealing the HUD benefit of reduced scanning. Adding extra information (clutter) to the HUD inhibited detection of both events in both head-up and head-down locations. However, this clutter cost was diminished for far-domain target detection if the added information was "low-lighted." Flight performance was superior in clear weather, when the true horizon was available for viewing. The data provided little evidence that attention was modulated in depth (near vs. far domains), but rather suggested that attention was modulated between tasks (flight control and detection).*

## **HUD dual**

**FAA. Special Conditions: Lockheed Martin Aerospace Corp. Model L382J Airplane. May 9, 1997.**

These special conditions is associated with the installation on the L382J airplane of a dual HUD to be used as a primary flight display (PFD) for all regimes of flight operations.

**FAA. Special Conditions: McDonnell Douglas Corporation (MDC) Model MD-17 Series Airplanes. Dec. 30, 1999.**

## **HUD avec EVS ou SVS**

**Byrne M. D., Kirlik A. Integrated Modeling of Cognition and the Information Environment: A Multilevel Investigation (Process and Product Modeling) of Attention Allocation to Visual Displays. (Technical Report AHFD-04-14/NASA-04-4) Savoy, IL: University of Illinois, Institute of Aviation, 2004.**

**Connor G. Enhanced vision competition. Kollsman, Max-Viz and CMC Electronics vie for dominance of rapidly growing EVS market. Professional pilot, September 2002.**

**Dornheim M.A. MMW radar shows commercial utility. AW&ST Nov. 2, 1992.**

**Dupont J. L'EVS fait son retour. Air et Cosmos, n°1770, 18, 2000.**

**Fiorino F. Runway in sight. AW&ST Jan. 26, 2004.**

Discussion of the FAA's new rule allowing the use of EVS in cat. I operations.

**FSB. Flight Standardization Board (FSB) report for the G-V/GV-SP. FSB, June 17, 2003.**

This FSB report (Appendix 6 & 7) provides recommendations similar to the G-IV FSB report.

**FSB. Flight Standardization Board report for the Gulfstream G-IV. Honeywell 2020 Head Up Display (HUD) and Kollmann Enhanced Vision System (EVS). FSB, Dec. 3, 2003.**

This FSB report specifies the training and checking requirements for the use of the G-IV HUD and EVS. Special emphasis is put on several areas which have been identified during extensive in-flight testing.

**Hines G.D., Rahman Z., Jobson D. J., Woodell G. A., Harrah S. D. Real-time Enhanced Vision System. NASA Langley Research Center, 2004.**

**Kramer L.J., Prinzel L.J., Bailey R.E., and Arthur J.J. Synthetic vision enhances situation awareness and RNP capabilities for terrain challenged approaches. AIAA's 3rd Annual Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Tech. AIAA 2003-6814. Denver, Colorado, USA. November 17-19, 2003.**

**L'Aérospatial. CMC Électronique étend la gamme de capteurs de son système de vision SureSight. L'Aérospatial, vol. 18, n°4, November 2002.**

**L'Aérospatial. Le capteur SureSight de CMC Électronique choisi par Rockwell Collins pour les jets d'affaires Dassault et pour les Boeing Business Jets. L'Aérospatial, vol. 20, n°4, November 2004.**

**Léger A. La suppléance visuelle dans le pilotage des voilures tournantes : aspects facteurs humains et perspectives d'évolution. Proceedings, All weather night and day rotorcraft operations. Valence, April 5-7, 1994.**

**Lorenz B., Korn B. R. Crew coordination issues of EVS approaches. Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. 5424, 89, 2004.**

**North D.M. Enhanced Vision System. AW&ST Jan. 18, 2002.**

The article describes the Kollsman's EVS certified by FAA on the Gulfstream V in 2003. An infra red image is shown on an Honeywell HUD. The total cost is about 1 M\$. Safety and operational benefits are expected : about 50% of the 80 approaches flown in fog conditions for certification were achieved. Three intensity settings are available to the pilot : high, low and automatic. The HUD symbology is automatically eliminated when the EVS is on. The training required is about 4 hr of ground school plus 2 hr in the simulator or aircraft.

**Prinzel L.J., Comstock J.R. et al. The efficacy of head-down and head-up synthetic vision display concepts for retro and forward fit of commercial aircraft. The International Journal of Aviation Psychology, 14(1), 53-77, 2004.**

**Stark, J., Comstock, J.R., Prinzel, L.J., Burdette, D, & Scerbo, M.W. A preliminary examination of situation awareness and pilot performance in a synthetic vision environment. Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society, 45, 40-43, 2001**

**Tilloy H. La vision synthétique perce les brouillards. Air et Cosmos, n°1983, May 13, 2005.**

**Tilloy H. Les HUD avec cristaux liquides prennent leur envol. Air et Cosmos, n°1981, April 29, 2005.**

**Websites**

<http://www.kollsman.com>

A detailed rationale is given to promote the Kollsman's EVS approved by FAA in 2002. Pictures and videos are provided to demonstrate the benefits associated with EVS in various visibility conditions.

<http://headupfligh.net>

The website of the "Sympathic" association, which actively supports the use of HUD.

<http://www.opspecs.com>

This website provides several Flight Standardization Board (FSB) reports, issued as a result of various aircraft types certification.

<http://www.cmcelectronics.ca>

<http://www.humanfactors.uiuc.edu/>

The website of the University of Illinois, providing several research publications and reports on HUD and EVS issues.



direction générale  
de l'Aviation civile

direction des affaires  
stratégiques et techniques

sous-direction  
de la sécurité et de  
l'espace aérien

**bureau des aéronefs et  
de l'exploitation**

50, rue Henry Farman  
75720 Paris cedex 15

téléphone : 01 58 09 46 87  
télécopie : 01 58 09 45 13  
mél : [stephane.deharvengt  
@aviation-civile.gouv.fr](mailto:stephane.deharvengt@aviation-civile.gouv.fr)

