

Étude

**sur les pertes de contrôle de la trajectoire
en phase d'approche lors de la remise de gaz**



Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie

Les enquêtes de sécurité

Le BEA est l'autorité française d'enquêtes de sécurité de l'aviation civile. Ses enquêtes ont pour unique objectif l'amélioration de la sécurité aérienne et ne visent nullement la détermination des fautes ou responsabilités.

Les enquêtes du BEA sont indépendantes, distinctes et sans préjudice de toute action judiciaire ou administrative visant à déterminer des fautes ou des responsabilités.

Table des matières

LES ENQUÊTES DE SÉCURITÉ	2
GLOSSAIRE	5
CADRE ET ORGANISATION DE L'ETUDE	7
1 – ETUDE STATISTIQUE	8
1.1 Introduction	8
1.2 Données issues de l'OACI	8
1.3 Données issues du BEA	9
1.4 Données issues du NTSB	10
1.5 Données issues de la FAA	10
1.6 Synthèse	10
1.7 Données issues de CAST	11
2 - ETUDE APPROFONDIE D'UNE SÉLECTION D'ÉVÉNEMENTS	13
2.1 Synthèse des événements	13
2.2 Synthèse	33
3 – SONDAGE PNT	35
3.1 Mise en place du sondage	35
3.1.1 Participation au sondage	35
3.1.2 Réalisation du sondage	35
3.2 Résultats	35
3.2.1 Résultats statistiques	36
3.2.2 Témoignages pilotes	39
3.2.3 Témoignages des instructeurs	46
3.3 Synthèse et interprétation des résultats	47
4 - SÉANCES DE SIMULATEURS	49
4.1 - Mise en place des séances	49
4.1.1 Environnement de simulation	49
4.1.2 Données à recueillir et méthodes	49
4.1.3 Scénarios	51
4.1.4 Réalisation de la séance pour les équipages	52
4.2 Résultats	53
4.2.1 Aspects temporels	53
4.2.2 Suivi des procédures	54
4.2.3 Gestion des modes	57
4.2.4 Interactions avec l'ATC	61
4.2.5 Synthèse des entretiens post-simulation	64
4.2.6 Synthèse générale de la remise de gaz 1	65

4.3 Circuit visuel PF / PNF-PM	71
4.3.1 Mesures	71
4.3.2 Résultats	73
4.3.3 Synthèse	84
4.3.4 Eléments précurseurs de focalisation excessive	84
4.4 Représentativité des simulateurs	85
4.5 Illusions somatograviques	87
5 - AUTRES RENSEIGNEMENTS	90
5.1 Formation des équipages	90
Synthèse	96
5.2 Procédures de remise de gaz éditées par les exploitants et les constructeurs	96
5.2.1 Procédures des constructeurs	96
5.2.2 Exemple de procédures exploitant	100
5.3 Service de la navigation aérienne, contrôle et procédure d'approche interrompue	103
5.4 Aspects réglementaires relatifs à la contrôlabilité à basse vitesse en RdG	105
5.5 Vent arrière en approche et en finale	106
6 - ANALYSE	109
6.1 Description des scenarii de type PARG	109
6.2 Réalisation de la RdG	112
6.3 Gestion du circuit visuel	114
6.4 Ergonomie du cockpit	117
6.5 Illusions somatograviques	119
6.6 Formation équipage	120
6.7 Gestion du trafic aérien (ATM)	123
6.8 Informations complémentaires	125
7 - CONCLUSION	127
8 - RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ	128
8.1 Formation des équipages	128
8.2 Ergonomie et certification	130
8.3 Formation et ergonomie	132
8.4 Simulateurs	134
8.5 Gestion du trafic aérien (ATM)	135
LISTE DES ANNEXES	137

Glossaire

ADIRU	Air Data and Inertial Reference Unit
ADREP	Accident Data Reporting System
AEL	Adaptation En Ligne
AESA	Agence Européenne de la Sécurité Aérienne
AIDS	FAA Accident/Incident Data System
AP	Auto-Pilot
ASRS	NASA Aviation Safety Reporting System : http://asrs.arc.nasa.gov/
AT	Auto-Throttle
ATC	Air Traffic Control
A/THR	Auto-Thrust
ATSB	Australian Transport Safety Board
BEA	Bureau d'Enquêtes et d'Analyse pour la sécurité de l'aviation civile
BST	Bureau de la Sécurité des Transports du Canada
CAST	Commercial Aviation Safety Team
CAVOK	Ceiling and Visibility OK
CdB	Commandant de Bord
CS 25	Certification Specification 25
CVR	Cockpit Voice Recorder
CFIT	Controlled Flight Into Terrain
CPL	Commercial Pilot Licence
CRM	Crew Resource Management
DME	Distance Measuring Equipment
DSAC	Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile
DV	Directeurs de Vol
ECAM	Electronic Centralized Aircraft Monitoring
ECCAIRS	European Co-ordination centre for Accident and Incident Reporting Systems
(E)GPWS	(Enhanced) Ground Proximity Warning System
FAA	Federal Aviation Administration
FAF	Final Approach Fix
FCL	Flight Crew Licence
FCP	Flight Control Panel
FCOM	Flight Crew Operational Manual
FCU	Flight Control Unit
FD	Flight Director
FDR	Flight Data Recorder
FFS	Full Flight Simulator
FL	Flight Level
FMA	Flight Mode Annunciator
FMC	Flight Management Computer
FMS	Flight Management System
FFS	Full Flight Simulator
FSTD	Flight Simulation Training Devices
FTO	Flight Training Organisation

GPS	Global Positioning System
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Instrument Landing System
IMC	Instrument Meteorological Condition
ISAE	Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace
LOFT	Line Oriented Flight Training
MCC	Multi Crew Cooperation
MCP	Main Control Panel
MPA	Multi Pilot Aircraft
ND	Navigation Display
NM	Nautical Miles
NTSB	National Transportation Safety Board
OACI	Organisation de l'Aviation Civile internationale
OCV	Organisme du Contrôle en Vol
OPL	Officier Pilote de Ligne
ORA	Organisation Requirements for Air crew
PA	Pilote Automatique
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations
PARG	Pertes de contrôle de la trajectoire en phase d'Approche lors de la Remise de Gaz
PF	Pilote en Fonction - Pilot Flying
PFD	Primary Flight Display
PM	Pilot monitoring
PNF	Pilot Non en fonction - Pilot Non Flying
PNT	Personnel Navigant Technique
QRH	Quick Reference Hand Book
QT	Qualification de Type
RdG	Remise De Gaz
SID	Standard Instrument Departure
SOP	Standard Operating Procedure
STAR	Standard Terminal Arrival Route
TOGA	Take-Off Go Around
TRI/E	Type Rating Instructor / Examiner
TRTO	Type Rating Training Organisation
Vc	Vitesse Calibrée
VFE	Maximum Speed with Flaps Extended
VHL	Vol Hors Ligne
VLS	Lowest Selectable Speed
VOR	VHF Omnidirectionnal Range
ZI	Zone d'Intérêt
ZFTT	Zero Fight Time Training

CADRE ET ORGANISATION DE L'ETUDE

Vers la fin des années 2000, le BEA a observé qu'un certain nombre d'accidents ou d'incidents graves en transport public aérien était lié à une perte de contrôle de la trajectoire pendant ou à l'issue d'une remise de gaz (RdG) en phase d'approche (PARG). D'autres événements mettaient en évidence une gestion inadéquate de la relation assiette / poussée par l'équipage alors que le mode de RdG n'était pas engagé mais que l'avion était proche du sol et que l'équipage cherchait à s'en éloigner.

De plus, ces événements constatés semblaient présenter des caractéristiques communes telles que la surprise, le phénomène de focalisation excessive d'au moins un membre d'équipage, la faible communication entre membres d'équipage, et la difficulté à gérer les automatismes.

Une étude a donc été lancée afin de :

- lister et d'analyser les facteurs communs entre ces événements ;
- proposer des axes de prévention.

Les organismes suivants ont été invités à participer à l'étude :

- la compagnie Air France ;
- la compagnie Corsair ;
- la compagnie XL-Airways ;
- l'Organisme du Contrôle en Vol (OCV) ;
- la Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile (DSAC) ;
- le constructeur Airbus ;
- le constructeur Boeing ;
- le *National Transportation Safety Board (NTSB)* ;
- l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (AESA) ;
- l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) ;
- l'Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE) ;
- un pilote expert en facteurs humains et en formation de pilotes ;
- Dedale, société spécialisée en facteurs humains et gestion de risques.

Durant l'étude, des contacts ont été établis avec la FAA et le groupe international *Commercial Aviation Safety Team (CAST)*.

Dans un premier temps, un travail statistique principalement basé sur les données du BEA et de l'OACI a été conduit. Puis, dans un second temps, des événements significatifs ont été sélectionnés et analysés. Par la suite, un sondage adressé aux pilotes de lignes a été effectué et des séances de simulateurs sur Boeing 777 et Airbus 330 ont également été réalisées.

L'ensemble de ces résultats a ensuite été analysé puis présenté aux participants de l'étude.

Le présent rapport d'étude comporte 34 recommandations de sécurité.

1 – ETUDE STATISTIQUE

1.1 Introduction

Le BEA est en charge des enquêtes de sécurité relatives aux accidents de transport public qui surviennent en France. Il participe également aux enquêtes relatives aux accidents survenus à l'étranger aux aéronefs de conception et de construction françaises, et notamment de type Airbus, en tant que représentant de l'Etat de conception.

En 2009 et 2010, le BEA a ainsi participé aux enquêtes relatives aux événements suivants :

- l'accident mortel de l'Airbus A 310 le 29 juin 2009 à Moroni (Comores) ;
- l'accident mortel de l'Airbus A 300 B4, survenu le 13 avril 2010 à Monterrey (Mexique) ;
- l'accident mortel de l'Airbus A 330-200, survenu le 12 mai 2010 à Tripoli (Libye).

Le premier accident est survenu en approche finale en configuration de pleine poussée et avec une forte assiette à cabrer. Les deux autres accidents se sont produits en phase de remise de gaz.

A la suite de ces trois accidents, le BEA a décidé de lancer une étude globale sur les pertes de contrôle de la trajectoire pendant ou à l'issue d'une remise de gaz en phase d'approche.

L'objectif était de :

- lister et d'étudier les événements de type PARG en transport public durant les 25 dernières années ;
- déterminer et d'analyser les facteurs communs entre ces événements ;
- proposer des axes de prévention.

Dans un premier temps, le BEA a effectué une recherche des événements de type PARG dans la base de données de l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile (OACI) puis dans sa base interne. Il a ensuite étendu ses recherches aux données des agences américaines.

1.2 Données issues de l'OACI

Selon les normes internationales⁽¹⁾, tous les accidents et incidents graves en Transport Public survenus aux aéronefs dont la masse maximale est supérieure à 2 250 kg doivent être notifiés à l'OACI. L'organisation utilise le système de base de données *European Co-ordination Centre for Accident and Incident Reporting Systems* (Eccairs) permettant de recenser les événements qui lui sont signalés selon la procédure ADREP.

⁽¹⁾Annexe 13,
Chapitre 7 :
Comptes rendus
ADREP.

L'OACI a fourni sa base de données au BEA. Elle contenait 20 490 occurrences majoritairement décrites en langue anglaise.

Le BEA a sélectionné les événements survenus uniquement à des avions. Il n'a pas pris en compte ceux correspondant aux circonstances suivantes :

- BIRD : collision avec oiseau(x),
- CABIN : sécurité cabine,
- F-NI : incendie/fumée (sans impact),
- GCOL : collision/abordage circulation au sol,

- LOC-G : perte de contrôle au sol,
- MAC : collision/quasi-collision en vol/séparation entre aéronefs,
- RAMP : problèmes assistance sol,
- RE : sortie de piste,
- RI-A : incursion sur piste animal,
- RI-VAP : incursion sur piste véhicule/aéronef/personne,
- RI-O : incursion sur piste autre,
- RI-VA : incursion sur piste véhicule ou aéronef,
- SCF-PP : défaillance moteur,
- SEC : problèmes lié à la sûreté.

Ont été éliminés les événements qui se sont déroulés lors d'un stationnement, d'une circulation au sol, d'un décollage, ou « *en route* »,

Ont été retenus tous les événements contenant au moins un mot « *go* », « *around* », « *missed* », « *remise* », « *gaz* », « *rdg* », « *meta* », « *haga* », « *frustrado* ».

21 événements ont finalement été sélectionnés parce qu'ils correspondaient aux critères de l'étude. Ils concernaient principalement des aéronefs de type Airbus et Boeing dans des proportions comparables. 11 événements de type PARG sont survenus entre 2000 et 2009 alors que 10 ont été recensés entre 1985 et 2000.

Toutefois, deux événements au moins, survenus avant le 31 décembre 2009, n'y figurent pas. Il s'agit de :

- l'incident grave survenu le 24 septembre 1994 à un A 310 à Orly (France) ;
- l'incident grave survenu le 23 Septembre 2007 à un B 737 à Bornemouth (Royaume-Uni).

Les deux événements auraient dû être dans la base OACI. Cette dernière n'est donc pas exhaustive. Le BEA a interrogé sa propre base et sollicité celle du NTSB.

1.3 Données issues du BEA

Le BEA a interrogé sa base de données en utilisant la même requête que celle utilisée pour la base de l'OACI.

Quatorze accidents et incidents graves ont été recensés. Cinq ne figuraient pas dans les résultats de l'OACI. Ils sont disponibles en annexe.

Par ailleurs, quatre enquêtes de type PARG n'ont pas été analysées car elles sont toujours en cours à la date du 1^{er} décembre 2012. Il s'agit de :

- l'accident de l'Airbus A 310 le 29 juin 2009 à Moroni (Comores) ;
- l'accident mortel de l'Airbus A 300 B4, survenu le 13 avril 2010 à Monterrey (Mexique) ;
- l'accident mortel d'un A 330-200, survenu le 12 mai 2010 à Tripoli (Libye) ;
- l'incident grave d'un Boeing B 777 survenu le 20 décembre 2011 à Charles-de-Gaulle (France).

1.4 Données issues du NTSB

Evénements enquêtés par le NTSB

Sollicité par le BEA sur la base des critères de la requête OACI, le NTSB a fourni en réponse un tableau de 177 pages. De nombreux aéronefs légers y figuraient. Seuls deux événements correspondaient au cadre de l'étude. Ils sont présentés en annexe.

Evénements survenus en dehors des Etats-Unis aux aéronefs de conception américaine

Le NTSB a indiqué au BEA qu'il n'enregistrait pas d'informations précises dans sa propre base relative aux enquêtes conduites par l'état d'occurrence et pour lesquelles il est impliqué en tant que représentant accrédité.

Le NTSB a suggéré que les données relatives à ces enquêtes soient obtenues directement auprès des états d'occurrence.

Le BEA n'a donc pas pu évaluer de manière exhaustive les événements de type PARG relatifs aux aéronefs de type Boeing qui se sont déroulés en dehors des Etats-Unis.

1.5 Données issues de la FAA

La FAA a interrogé les bases de données AIDS, ASRS et celle du NTSB. Après avoir étudié les résultats, le BEA a sélectionné neuf comptes-rendus volontaires anonymes présentés en détail en annexe.

Ces comptes-rendus concernent principalement des aéronefs de type Airbus, Boeing et Bombardier. Une présentation sous forme de synthèse figure au paragraphe 2.2.

1.6 Synthèse

21 événements de type PARG ont été sélectionnés parmi les 20 490 de la base OACI. Ils concernent principalement des avions de type Boeing et Airbus, ceux-ci représentant près de 90 % de la flotte mondiale des aéronefs de transport public de plus de 5,7 tonnes.

La base de données des accidents et incidents fournie par le NTSB ne contenait pas d'événements significatifs de type PARG survenus aux Etats-Unis. Les comptes-rendus anonymes indiquent cependant que des événements PARG se sont produits sur des aéronefs lourds aux Etats-Unis, pays dans lequel le trafic en transport commercial est le plus important au monde.

De plus, le NTSB n'a pas de base de données sur les événements survenus à l'étranger aux aéronefs de conception et construction américaine. Par conséquent, il n'a donc malheureusement pas été possible d'identifier exhaustivement d'autres événements de type PARG survenus aux aéronefs de construction américaine et notamment de type Boeing.

Entre 1985 et 2010, il y a eu au moins 25 accidents ou incidents graves recensés (21 issus de la base de l'OACI et 4 issus de celle du BEA) de type PARG. Ces événements sont assez peu fréquents mais leurs conséquences sont graves. Le risque d'accident est donc difficile à estimer puisqu'il est le produit de la probabilité d'occurrence par la gravité.

Afin de mieux évaluer le risque, le BEA a comparé le nombre annuel de victimes à la suite d'accidents de type PARG avec celui répertorié par l'OACI en TP. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Année	Nombre de victimes décédées en TP	Nombre de victimes décédées en PARG	Taux en %	Nombre d'accidents mortels de type PARG
2010	406	109	26,85	2
2009	795	161	20,25	2
2008	703	15	2,13	2
2007	816	0	0	0
2006	482	113	23,44	1
2005	746	0	0	0
2004	485	0	0	0
2003	563	0	0	0
2002	903	0	0	0
2001	986	2	0,20	1
2000	976	143	14,65	1
1999	576	0	0	0
1998	940	101	10,74	1
1997	1111	0	0	0
1996	1290	0	0	0
1995	1204	0	0	0
1994	1565	264	16,87	1
1993	1432	0	0	0
1992	1561	4	0,26	1
1991	1272	0	0	0
1990	483	0	0	0
1989	1525	0	0	0
1988	1338	3	0,22	1
1987	1203	0	0	0
1986	719	0	0	0
1985	1916	41	2,04	2
TOTAL	25996	954	3,67	15

Taux d'accidents mortels de type PARG en TP dans le monde

Ainsi, même si le nombre d'événements de type PARG est peu fréquent, chacun d'entre eux produit un grand nombre de victimes, ce qui peut justifier des mesures de prévention spécifiques.

1.7 Données issues de CAST

L'entité *Commercial Aviation Safety Team* (CAST) résulte d'un partenariat autorités-industries qui s'est fixé pour objectif d'identifier et de promouvoir les initiatives présentant le meilleur gain potentiel de sécurité. La FAA, l'AESA, Airbus, Boeing, l'association des compagnies américaines (A4A), l'association des pilotes de ligne (ALPA) et la *Flight Safety Foundation* (FSF) y participent.

CAST se compose de trois entités :

- JSAT, qui analyse en profondeur et propose de multiples recommandations ;
- JSIT, qui évalue et trie ces recommandations ;
- JIMDAT, qui suit leur mise en oeuvre.

En août 2008, CAST a publié un rapport disponible à l'adresse suivante : http://www.cast-safety.org/pdf/cast_automation_aug08.pdf.

Ce rapport indique notamment que :

« The Team reviewed automation policies from 16 air carriers to identify common concepts in order to build a set of industry practices that could establish a baseline for an industry-wide automation policy.

The Team found that a fundamental problem applied to almost all cases in the dataset: the flight crew did not comprehend what the automation was doing, or did not know how to manipulate the automation to eliminate the error. In such cases, when the crew changed automation levels they often exacerbated the problem.

In all 50 cases, pilots were unable return the aircraft to the desired flight path in a timely manner. This was due to two root causes: inadequate training and system knowledge; and the unexpected incompatibility of the automation system with the flight regime confronting pilots in their normal duties. »

Deux groupes de travail JSAT ayant un lien avec l'étude PARG ont depuis été lancés :

- Attitude Awareness group ;
- Energy State Awareness group.

Au 1^{er} octobre 2012, aucun rapport des deux groupes JSAT/CAST n'a été publié.

En 2011, le BEA a rencontré les équipes de CAST, le NTSB et la FAA. Les différentes entités ont estimé que la catégorisation CFIT ne correspond pas aux types d'événements PARG. De même *Loss of Control during Go Around* (LCGA) est un terme trop réducteur. La terminologie *Airplane State Awareness during Go-Around* (ASAGA) a alors été proposée par les membres du groupe pour traduire la notion de PARG. Par rapport à la problématique de l'étude, les facteurs suivants ont été évoqués :

- position du trim de profondeur proche de la butée cabré ;
- CRM insuffisant, notamment en provenance du Pilot Monitoring (PM/PNF⁽²⁾) ;
- méconnaissance des automatismes ;
- désorientation spatiale ;
- illusions somatograviques ;
- interférence ATC.

⁽²⁾En 2013, Airbus a adopté la taxonomie PM au lieu de PNF.

2 - ETUDE APPROFONDIE D'UNE SÉLECTION D'ÉVÉNEMENTS

2.1 Synthèse des événements

En vue de dégager des enseignements communs, le BEA a sélectionné et étudié 10 accidents et incidents graves auxquels s'ajoute une sélection de 6 résumés issus des différentes bases de données interrogées.

Les résumés des événements figurent ci-dessous par ordre chronologique et sont développés dans ce chapitre.

ACCIDENT/INCIDENT
Evénement 1 - A310 Surat-Thani 11/12/1998
Evénement 2 - A320 Bahrein 23/08/2000
Evénement 3 - A320 Sotchi 02/05/2006
Evénement 4 - A320 Naples 09/2006
Evénement 5 - A330 Abidjan 30/03/2007
Evénement 6 - A320 Melbourne 21/07/2007
Evénement 7 - B737 Bornemouth 23/09/2007
Evénement 8 - A320 Perpignan 27/11/2008
Evénement 9 - A319 Roissy 23/09/2009
Evénement 10 - A380 New York 11/10/2010

Six résumés d'événements (accidents/incidents ou ASRS) issus des différentes bases de données internationales interrogées ont également été sélectionnés et sont fournis en annexe 1.

Evénement 11 - B757 Gardemoen 22/01/2002
Evénement 12 - B737 Bremen 27/04/1998
Evénement 13 - SA226 Shamattawa 11/10/2001
Evénement 14 - CRJ700 XXXX XXXX ASRS
Evénement 15 - A320 XXXX XXXX ASRS
Evénement 16 - B737-800 XXXX XXXX ASRS

Evénement 1

Nature de l'événement	Accident
Date et heure	11 décembre 1998
Lieu	En approche à Surat-Thani (Thaïlande)
Aéronef	A 310
Référence	Rapport papier uniquement

Déroulement du vol

Environ une demi-heure après le décollage, le contrôleur d'approche de Surat-Thani autorise l'équipage à effectuer l'approche VOR-DME en piste 22. Le CdB est PF et il fait nuit. Le vent en surface est calme, la visibilité est de 1 500 mètres, la base des nuages est à 1 800 ft et il pleut faiblement. A partir des paramètres FDR, à une altitude d'environ 2 000 ft, un vent du 020° pour 25 kt a été calculé pour les trois approches.

Lorsque l'équipage annonce qu'il passe le FAF, le contrôleur d'aérodrome l'autorise à l'atterrissement en piste 22. Une minute plus tard, à environ 3 NM de la piste, l'équipage indique qu'il a la piste en vue. Le pilote automatique est déconnecté à 696 ft. Le contrôleur lui répond qu'il voit aussi l'avion mais le CdB décide d'interrompre l'approche et d'en effectuer une seconde, car il trouve que la trajectoire de l'avion est trop à gauche du segment d'approche final. Il indique pendant la remise de gaz que la vitesse verticale de l'avion est élevée. Le copilote (PNF) lui répond que « *c'est probablement dû à la masse faible de l'avion* ».

Lors de la deuxième approche, effectuée avec le pilote automatique connecté, l'équipage n'a pas la piste en vue. Le commandant de bord indique au copilote qu'il n'est pas sur le radial du segment final d'approche et précise qu'il sera difficile d'atterrir si la trajectoire n'est pas corrigée. L'équipage aperçoit la piste de très près sur la droite de l'avion mais ne peut atterrir. Il décide à nouveau d'interrompre l'approche et d'effectuer une troisième tentative.

Le commandant de bord annonce aux passagers qu'une troisième tentative d'approche va être effectuée et que, si l'atterrissement n'est pas possible, il faudrait rentrer à Bangkok. Le contrôleur d'aérodrome autorise l'équipage à l'atterrissement en piste 22, le copilote collationne et le contact radar est perdu juste après.

Lors de cette troisième approche, le commandant de bord a indiqué que l'avion était près de la piste pour pouvoir atterrir. Lors de la remise de gaz, il a actionné les « *GO Levers* », ce qu'il n'a pas fait lors des deux premières remises de gaz.

Sous l'effet conjugué de l'augmentation de la poussée et de l'utilisation à cabrer du compensateur électrique par le PF (switch situé sur le manche), le moment cabreur généré lors de la troisième approche a largement été supérieur à celui des deux premières approches. Ce mouvement cabreur de l'aéronef conjugué à la perte de conscience de la situation (discussions pendant cette remise de gaz sur le retour vers Bangkok) ont conduit l'avion au décrochage.

La première action en tangage du PF sur le manche a eu lieu alors que l'assiette était de

36 degrés. Le FCOM préconise de ne pas dépasser 18 degrés. Pendant le décrochage, des actions à cabrer sur le manche sont enregistrées. De même, la première action pour contrer le départ en roulis a eu lieu alors que l'angle de roulis était de 50 degrés.

Lors des trois approches, le PF s'est retrouvé trop sur la gauche du radial du segment d'approche final et n'a pas corrigé cette déviation. De plus, ses derniers contrôles de compétences montrent qu'il n'était pas très familier avec les approches classiques.

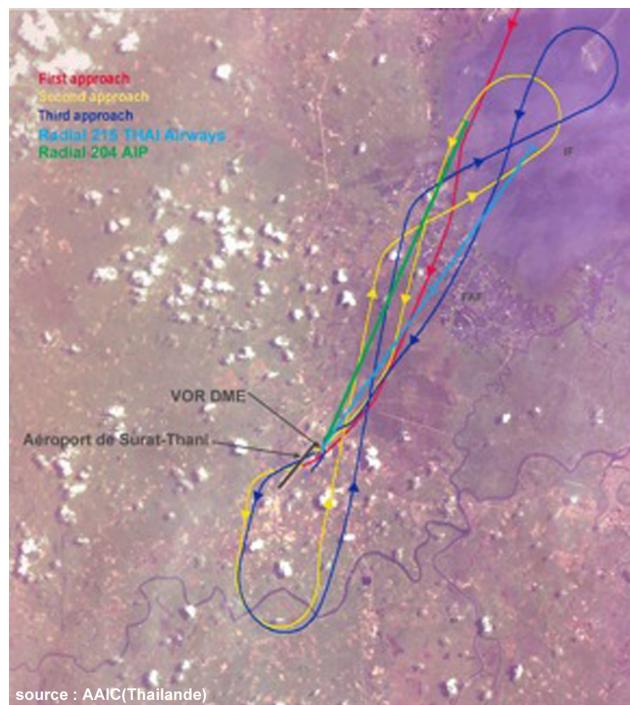


Figure 1 : approach from 11:37:33 UTC to 12:07:35 UTC

Recommandations

Plusieurs recommandations de sécurité ont été formulées. En particulier :

- sur l'entraînement à la récupération de l'aéronef en situations inusuelles (upset recovery) :
Pilots should undergo airplane upset recovery training ;
- sur le CRM :
Aviation personnel should attend CRM training on human factors training manual ICAO document 9683-AN/950.

Evénement 2

Nature de l'événement	Accident
Date et heure	23 Août 2000
Lieu	En approche à Bahrein
Aéronef	A320
Référence	http://www.bea.aero/docspa/2000/a40-ek000823a/htm/a40-ek000823a.html

Déroulement du vol

Le CdB PF effectue une approche directe VOR DME 12 de nuit par conditions météorologiques CAVOK en ayant vue sur l'aérodrome. L'approche est non stabilisée car la vitesse est excessive et la configuration des volets n'est pas standard. L'avion survole le FAF à 223 kt alors que la vitesse calculée au FMS est de 136 kt. Au cours de la descente, le PA et les FD sont déconnectés et l'avion est piloté manuellement. Lorsqu'il se trouve à une hauteur de 500 ft, l'aéronef vole à la vitesse de 198 kt et les volets sont en position 2 au lieu de FULL. Le train est sorti.

Le CdB décide d'effectuer un 360° par la gauche en courte finale. Le CdB ordonne la sortie des volets vers 3 puis FULL. Pendant le virage, la hauteur varie entre une hauteur de 965 ft et 332 ft et l'inclinaison dépasse à plusieurs reprises 25°. Aucune annonce du copilote n'est enregistrée.

La trajectoire de l'appareil coupe l'axe de la piste perpendiculairement. Alors que le copilote indique la voir, le CdB annonce qu'ils ont dépassé l'axe de piste et il vire vers la gauche. Puis, l'assiette augmente progressivement jusqu'à + 14°, redescend vers + 9°. Le CdB demande au PNF de dire au contrôleur qu'ils vont effectuer une remise de gaz. Les manettes de poussée sont positionnées sur TOGA. Les volets sont placés vers la position 3 et le train est rentré. L'assiette diminue vers + 6° au lieu d'augmenter vers + 15° comme le prévoit la procédure de RdG, ce qui provoque un accroissement rapide de la vitesse. Toutefois l'altitude augmente régulièrement en raison de l'assiette positive.

Alors que le contrôleur propose un nouveau guidage radar qui est accepté par l'équipage, l'alarme « *master warning* » associé au dépassement de la VFE retentit. Cette dernière est annoncée par le PNF/PM. Le CdB lui demande de rentrer les volets sans préciser de position. Puis, le CdB pousse sur le manche pendant onze secondes alors que l'avion se trouve à une hauteur de 1 050 ft. L'enquête estime que l'explication la plus probable de cette action à piquer de nuit est liée à une illusion perceptive de type somatogravique⁽³⁾. Toutefois, le PFD affichait bien l'assiette réelle de l'appareil. Le rapport indique que cette information d'assiette n'a pas été utilisée par le CdB en raison d'un manque de disponibilité de ressources, alors qu'il était accaparé par la surveillance de la vitesse.

L'assiette diminue rapidement du fait de l'action à piquer et atteint la valeur négative de - 12°. L'alarme « *Sink Rate* » du GPWS retentit et le CdB pousse sur le manche. L'alarme « *pull up* » retentit alors et reste active jusqu'à l'impact de l'appareil avec l'eau. Aucun échange verbal n'a lieu entre les membres de l'équipage lors du déclenchement de l'alarme GPWS. Quelques secondes avant l'impact, une action à cabrer insuffisante est effectuée par le CdB. Le dernier enregistrement issu du FDR indique une vitesse de 282 kt et une assiette négative de - 6°.

⁽³⁾Illusion somatogravique : mauvaise perception de l'orientation du corps dans l'espace en cas d'accélérations linéaires.

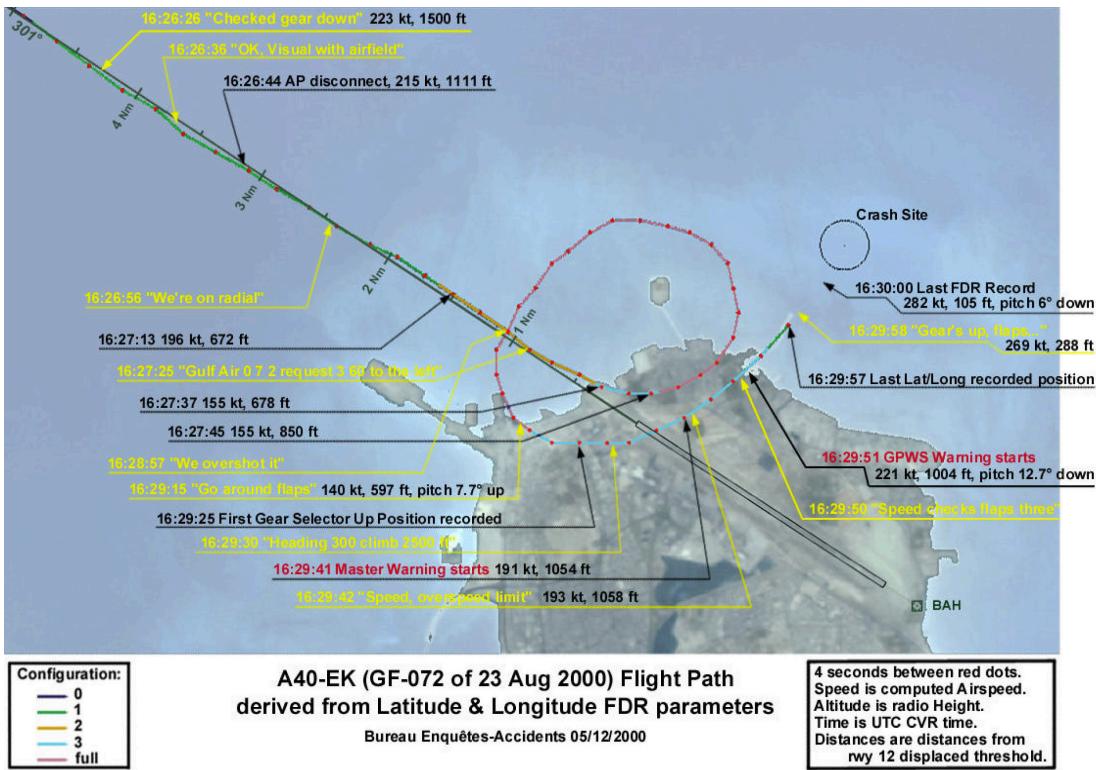


Figure 2

Analyse / Conclusion

Le rapport indique que les actions à piquer du CdB s'expliquent probablement par une perception erronée d'assiette à cabrer caractéristique d'une illusion perceptive de type somatogravique.

Le copilote était réservé et n'a pas joué son rôle de surveillance, et notamment lors du 360°. Par ailleurs, la commission d'enquête a pointé le non-respect des SOP et des violations de procédures opérationnelles. La remise de gaz pouvait également être perçue comme un échec pour le CdB. Le CRM entre les membres d'équipage était insuffisant. La commission d'enquête pointe également la réaction inadéquate de l'équipage aux alarmes GPWS. Enfin des dysfonctionnements systémiques au sein de la compagnie et de l'autorité de tutelle sont pointés.

Recommandations

Plusieurs recommandations ont été émises dont notamment la revue des procédures, la formation aux SOP, le renforcement du rôle de l'OPL, la formation contre le risque associé au CFIT et la formation aux alarmes GPWS :

- To ensure that Gulf Air reviews and enhances, in accordance with DGCA regulatory requirements, the A320 flight crew training programmes to ensure full compliance with the standard operating procedures, and increase the effectiveness of the first officer. The training in 'CFIT avoidance and GPWS responses should be augmented by including it in the recurrent training programme, with a detailed syllabus in accordance with DGCA requirements. The Approach-and-Landing Accident Reduction (ALAR) toolkit produced by the Flight Safety Foundation, with extensive airline industry input, could be a key element in the updated training programme. (B-01-3).**

Evénement 3

Nature de l'événement	Accident
Date et heure	2 Mai 2006
Lieu	En approche à Sotchi
Aéronef	A 320
Référence	http://www.bea.aero/docspa/2006/ek-9060502/pdf/ek-9060502.pdf Rapport du MAK

Déroulement du vol

L'équipage effectue une approche ILS à Sotchi, de nuit. Les conditions météorologiques sont proches des minima opérationnels et le copilote, qui est PNF, indique être fatigué. L'aéronef est sous guidage radar afin d'effectuer une approche ILS. Le PA est alors engagé en modes LOC et G/S, affichés au FMA, et l'avion est en configuration train sorti et plein volets.

Alors qu'il se trouve à une altitude proche de 1 200 ft, et en raison d'une baisse du plafond des nuages sous les minima de la procédure, le contrôleur ordonne à l'aéronef de stopper la descente, de tourner à droite et de monter à l'altitude de la procédure de remise de gaz de 600 m. L'équipage collationne et actionne le bouton Push To Level Off ce qui a pour conséquence de mettre l'avion en palier. Le PA passe alors en mode HDG, V/S (0 ft/min). L'équipage sélectionne un cap de 172° vers la droite. Le contrôleur réitère alors sa clairance et l'équipage sélectionne, sans doute par erreur, une altitude de 3 200 ft au lieu de 2 100 ft et active le mode OPEN CLIMB. L'assiette augmente rapidement jusqu'à une valeur de + 21°. La vitesse diminue légèrement sous VLS et l'alarme orale SPEED SPEED se déclenche. Le PF réagit en positionnant les manettes de poussée dans le cran TOGA et en désengageant le PA sans toutefois rentrer les traînées. A partir de cet instant, l'avion est en virage à droite, avec le train et les volets sortis, à pleine poussée et avec une assiette à cabrer. Le mode latéral étant GA TRK, la barre latérale du FD se déplace progressivement en butée à gauche.

Dès que le PA est désengagé, le CdB pousse sur le manche. Néanmoins, l'avion continue de monter et la vitesse augmente rapidement. Lorsqu'elle atteint 160 kt environ, l'altitude est sélectionnée à 2 100 ft alors que l'avion se trouve à 1 500 ft et le mode OPEN CLB est activé. Lorsque le message LVR CLB flashe au FMA, le CdB réduit les manettes de poussée dans le cran FLEX / MCT puis CLB. Ceci a pour conséquence de changer le mode A/THR au FMA. La vitesse cible devient GREEN DOT. Le CdB exécute aussi des ordres à gauche sur le mini-manche, et interrompt pratiquement le virage à droite.

Ensuite, le CdB pousse plusieurs fois sur le manche. L'enquête a émis l'hypothèse que les actions à piquer sur le manche pouvaient être liées aux illusions somatograviques et/ou à l'approche des VFE⁽⁴⁾. L'alarme sonore et visuelle MASTER WARNING se déclenche en raison du dépassement de la VFE. L'avion s'incline de plus en plus à droite et la vitesse continue d'augmenter. Les volets sont rentrés. Enfin, alors que la vitesse atteint 210 kt, le GPWS se déclenche. Des ordres au manche, en DUAL INPUT, sont enregistrés. Ils sont en sens contraire, principalement en latéral et à droite côté CdB et à gauche côté copilote. L'assiette reste négative jusqu'à l'impact avec la mer.

⁽⁴⁾Pages 46 et 47 du rapport du MAK. En cas de perte de conscience de la situation, l'hypothèse est que l'arrivée par le haut des VFE en rouge sur l'échelle des vitesses du PFD pourrait conduire un pilote à pousser au lieu de cabrer.

Analyse

Le rapport indique que l'on peut émettre l'hypothèse que les actions à piquer pouvaient être liées aux illusions somatograviques et/ou à l'approche des VFE. La commission d'enquête évoque une perte de conscience par l'équipage de la situation en tangage et en roulis, un CRM insuffisant voire inexistant durant la phase de remise de gaz et jusqu'à la fin de l'événement. Elle a également conclu que le CdB a engagé l'aéronef dans une situation anormale et que, outre ses réactions, le copilote a exercé un rôle insuffisant de surveillance. Elle pointe également l'absence de réaction adéquate de l'équipage à l'alarme GPWS.

Recommandations

Plusieurs recommandations ont été émises :

- sur l'amélioration des simulateurs :
 - ***To review the necessity of enhancing crew simulator training in the section on flying in Flight Director mode, especially during approach and go-around.***
 - ***To consider the necessity of enhanced simulator training for A320 crews ;***
- sur la désorientation spatiale :
 - ***To organize and conduct research into the conditions under which a crew may lose spatial orientation and/or upset aircraft attitude may develop, and to issue practical recommendations to enhance flight safety. In particular, to evaluate the effect of in-flight acceleration illusions. Based on the research, to develop and introduce a specialized course for recurrent training of crews that should contain both classroom and flying training ;***
- sur la compréhension des automatismes :
 - ***To introduce in the A320 FCOM information clarifying specific features of activation of the OPEN CLIMB mode in various flight conditions ;***
- sur le vol à basse énergie :
 - ***To introduce in the A320 FCOM a warning about possible activation of the LOW ENERGY WARNING, when the aircraft performs manoeuvres in the landing configuration with considerable changes in pitch and roll angles.***

Le rapport officiel comporte des commentaires du BEA qui souligne l'importance de l'effet de surprise pour l'équipage dû à l'ATC qui a modifié la procédure de remise de gaz en donnant des instructions en cap et altitude. Par ailleurs, le BEA pointe la gêne due au message ATC durant la remise de gaz.

The crew, now sure that they were going to land, did not expect any more disturbances. The order to stop the descent, which arrived forty-six seconds later, was thus completely unexpected and ran counter to the pilots' mental representation of the situation. This destabilised the crew, already annoyed and against the controller, in particular the Captain, who reacted to this instruction rapidly and, it appears, without developing any strategy. Further, the nature of the instructions, oriented on piloting actions instead of consisting of an explicit order to abort the approach, may have contributed to the pilot's disorientation. The pilot carried out the instructions received in succession, but did not appear to have immediately adopted the missed approach procedure. This did not allow trained reflexes to cut in and probably contributed to his forgetting to retract the flaps, for example. Finally, during the missed approach, the Co-pilot's attention was partially distracted from following the manoeuvre by the long message from the controller that gave new instructions for the go-around and a new approach. Thus, he only intervened tardily to draw the Captain's attention to the airplane's attitude.

Evénement 4

Nature de l'événement	Incident
Date et heure	Septembre 2006
Lieu	En approche à Naples
Aéronef	A 320
Référence	Analyse interne compagnie

Note : il n'existe pas de rapport officiel rédigé par un bureau d'enquête sur cet incident. Les informations ci-dessous sont issues du rapport de la compagnie aérienne.

Déroulement du vol

L'OPL, PF, réalise une approche classique managée avec le PA engagé en piste 06 de l'aérodrome de Naples. A 2 100 ft QNH, au passage des minimas, le PA se déconnecte au moment où l'équipage débute une remise de gaz. Les manettes de poussée sont placées dans le cran TOGA.

Les régimes moteur augmentent et l'assiette croît de + 1,1° vers + 4,2°. Aucune action aux manches n'est enregistrée pendant 21 secondes après la déconnexion du PA. L'assiette décroît alors régulièrement de + 4,2° vers - 1,8°. Ni l'OPL, ni le CdB ne perçoivent l'absence de prise d'assiette de remise de gaz et l'anomalie de trajectoire verticale qui en résulte. Alors que la vitesse atteint 188 kt, pour une VFE de 195 kt, on enregistre une action à cabrer, simultanément sur les deux mini-manches CdB et OPL. L'avion est soumis à une accélération verticale de 1,65 g et l'assiette augmente vers + 14,4°. L'avion débute une montée vers l'altitude de 4 000 ft QNH affichée au FCU. Le PA 1 est alors connecté. L'avion atterrit sans problème

L'enquête a démontré que la déconnexion du PA n'a pas été détectée par l'OPL. Elle a été perçue par le CdB (PNF) qui a pensé que l'OPL passait en mode manuel.

Note : la sélection des fonctions et modes effectuée (finale managée avec PA) conduit à la déconnexion du PA à MDA - 50 ft. Cette déconnexion s'est produite au moment même où les manettes ont été avancées en position TOGA pour la remise de gaz.

Analyse / Conclusion

Lors d'une remise de gaz aux minima, l'avion doit suivre une trajectoire de montée. Cet écart de trajectoire n'a été initialement détecté ni par l'OPL, ni par le CdB. Dans cette phase, l'équipage a perdu le contrôle de la trajectoire.

La cause retenue est une déconnexion automatique (normale) du PA non détectée par l'OPL PF.

Cet incident a conduit à identifier des nuances de rédaction entre le FCOM Airbus et le Manuel d'exploitation de la compagnie. Elles concernent la séquence assiette/poussée, l'annonce « Go-Around/Flaps » et les remises de gaz initiées à partir d'une altitude intermédiaire.

Evénement 5

Nature de l'événement	Incident grave
Date et heure	30 mars 2007
Lieu	En approche à Abidjan
Aéronef	A330
Référence	Rapport interne compagnie

Note : il n'existe pas de rapport officiel rédigé par un bureau d'enquête sur cet incident grave. Les informations ci-dessous sont issues du rapport de la compagnie aérienne.

Déroulement du vol

L'équipage effectue, de nuit, une approche ILS pour la piste 21 à Abidjan, en conditions météorologiques orageuses, avec un vent très variable. Le CdB, PF, reprend le pilotage en manuel vers 1 400 ft.

Pendant la finale, la composante de vent arrière affichée sur le ND devient supérieure à 10 kt. Vers 80 ft, le commandant de bord décide d'interrompre l'approche. La séquence initiale de remise de gaz est conforme à la procédure, avec un affichage de la poussée « TOGA », une prise d'assiette initiale vers 12,5°, une rentrée des volets vers la position 3 et la rentrée du train. Le CdB avait auparavant sélectionné une altitude de RdG de 1 700 ft au lieu de 2 200 ft.

Les indications du FMA passent en mode ALT* entre 900 et 1 000 ft⁽⁵⁾, associées à l'alarme sonore « *altitude alert* »⁽⁶⁾. Le PF applique alors des actions à piquer pour diminuer l'assiette et réduit la poussée, en déplaçant les manettes dans le cran CLIMB. L'altitude maximale enregistrée est de 1 220 ft. Un passage des manettes dans le cran MCT est enregistré huit secondes plus tard ce qui a pour conséquence l'apparition du message clignotant « *LVR CLB* »⁽⁷⁾ sur le FMA.

Une alarme GPWS apparaît à environ 1 000 ft. L'assiette est alors de - 8,8°. La première correction d'assiette est enregistrée à environ 870 ft, soit deux à trois secondes après l'alarme. La ressource est initialement modérée, l'assiette passe de - 9,5° à - 2,5°. Les manettes de poussée sont amenées dans le cran TOGA. Trois secondes plus tard, une action plus franche est enregistrée, qui correspond sans doute à la manœuvre d'urgence GPWS « *Pull Up* ». L'avion remonte à une altitude de 3 000 ft.

L'équipage effectue ensuite une nouvelle approche et un atterrissage en piste 03.

⁽⁵⁾Le mode ALT* guide l'avion pour atteindre l'altitude sélectionnée au FCU. Le mode s'engage lorsque l'avion atteint la zone de capture d'altitude définie notamment par la vitesse verticale de l'avion.

⁽⁶⁾L'alarme « *altitude alert* » est générée lorsque l'avion s'approche du niveau de vol ou de l'altitude sélectionnée. Elle se déclenche à 750 ft de l'altitude sélectionnée. C'est une alarme sonore spécifique, associée à un clignotement jaune ou ambre de la fenêtre d'altitude du PFD.

⁽⁷⁾Ce message clignote en blanc dans la première colonne du FMA. Il avertit l'équipage que la position normale des manettes est en position CLB.

Evénement 6

Nature de l'événement	Incident grave
Date et heure	21 Juillet 2007
Lieu	En approche à Melbourne
Aéronef	A320 -232
Référence	www.atsb.gov.au/media/793232/ao2007044.pdf

Déroulement du vol

Le CdB, PF effectue une approche ILS en piste 27 avec le pilote automatique engagé. Du brouillard est présent sur l'aérodrome. Au cours du briefing arrivée, l'équipage a envisagé la remise de gaz. La très forte probabilité d'effectuer une approche interrompue a été confirmée par les nombreux messages de remise de gaz entendus lors de l'approche.

Aux minima, n'ayant pas le visuel sur les références extérieures, le CdB effectue une remise de gaz. Il pousse les manettes de poussée au-delà du cran FLX/MCT - sans toutefois aller jusqu'au cran TOGA - avant de les ramener dans ce cran. A l'annonce de la remise de gaz par le PF, le PNF/PM place la commande des becs et volets en position 3. Le PA n'est déconnecté que quatre secondes plus tard alors que l'avion est à 57 ft. L'alarme EGPWS retentit. L'avion commence à monter trois secondes plus tard. Le train d'atterrissement est rentré. L'avion poursuit la montée et, à 281 ft radiosonde, l'auto poussée est engagée. Les manettes de poussée sont alors placées dans le cran CLIMB. L'avion se stabilise vers 650 ft pendant douze secondes. Le PA est ensuite engagé et l'avion amorce une légère descente vers 570 ft. A cet instant, l'alarme EGPWS retentit à nouveau. Le PA est déconnecté. Les manettes de poussée sont alors placées dans le cran TOGA. L'avion poursuit la montée sans autres problèmes. L'équipage tente une deuxième approche, sans succès, en raison des conditions météorologiques. La remise de gaz sera réalisée en automatique, les manettes de poussée étant placées immédiatement dans le cran TOGA. Le commandant de bord décide de se dérouter sur l'aérodrome d'Avalon.

Fonctionnement des automatismes

Lorsque les modes d'approche (G/S et LOC) sont sélectionnés, le mode LAND s'engage automatiquement en dessous de 400 ft. Il s'affiche en vert, encadré, au FMA, occupant les fenêtres d'affichage des modes verticaux et horizontaux.

Le positionnement des manettes de poussée dans le cran TOGA permet d'engager les modes de RdG i.e. SRS (vertical), GA/TRACK (latéral) et d'activer le plan du vol du FMS. L'auto-poussée passe en mode MAN TOGA. Une fois cette phase activée, l'équipage peut ajuster la poussée comme nécessaire pour limiter la vitesse verticale. Lors de cet incident, les manettes de poussée n'ont pas été amenées dans le cran TOGA. Les modes de remise des gaz n'ont donc pas été activés et l'avion est resté en mode LAND.

Selon le rapport d'enquête, le PF a pensé avoir positionné les manettes dans le cran TOGA. Il a fallu approximativement 48 secondes pour que son intention de remettre les gaz soit effectivement réalisée avec les manettes de poussée dans le cran TOGA et le mode SRS engagé.

La procédure a été entamée mais elle a été suspendue lorsque l'alarme EGPWS a retenti.

Le FCOM du constructeur contient une procédure de remise de gaz qui requiert la vérification et l'annonce du FMA, afin que l'équipage soit avisé au plus tôt des modes de fonctionnement de l'avion (item n° 3 de la procédure).

La compagnie avait, avant l'incident, introduit une modification de cette procédure. Ainsi, la vérification et l'annonce du FMA étaient placées à l'item 9. Cette modification n'a pas laissé le temps à l'équipage de vérifier l'annonce du FMA. Il ne connaîtait donc pas les modes de fonctionnement de l'avion au moment de la remise de gaz.

Le déclenchement des alarmes a consommé de nombreuses ressources de l'équipage qui n'a pas détecté que l'avion était en train de poursuivre la descente jusqu'à une hauteur de 38 ft. Il n'a pas non plus perçu l'accélération de l'aéronef vers les vitesses limites de configuration becs/volets 3.

Conclusion du rapport d'enquête

Le PF n'a pas positionné les manettes de poussée dans le cran TOGA. La modification apportée par la compagnie à la procédure de remise de gaz ne permettait pas à l'équipage de connaître l'état des modes de vol de l'avion. L'exploitant n'a pas mené d'analyse de risques lors de la mise en œuvre de la modification de procédure.

La formation initiale des deux pilotes a été réalisée par un tiers. De plus, les procédures en vigueur dans la compagnie n'étaient pas connues de ce TRTO. La compagnie n'appliquait pas la réglementation en vigueur relative à la formation de ses équipages.

L'ATSB a souligné les risques de sécurité soulevés par l'enquête et notamment en ce qui concerne les modifications de procédure :

The aircraft operator did not conduct a risk analysis when changing the go-around procedure, nor did its safety management system require one to be conducted.

The aircraft operator had changed the standard operating procedure for the go-around. The change resulted in the flight crew being unaware of the flight mode status of the aircraft during the first part of the first missed approach.

Evénement 7

Nature de l'événement	Incident grave
Date et heure	23 septembre 2007
Lieu	En approche à Bournemouth
Aéronef	B 737-300
Référence	http://www(aaib.gov.uk/publications/formal_reports/3_2009_g_thof/g_thof_report_sections.cfm

Déroulement du vol

Le copilote est PF et le CdB est PM. Au cours d'une approche ILS vers leur base, l'autothrottle (AT) se déconnecte sans que l'équipage ne le remarque alors que l'aéronef venait de capturer le G/S et que la poussée était au ralenti. Le pilote automatique ajuste l'assiette et augmente progressivement à cabrer le trim afin de suivre la pente du G/S tandis que la vitesse diminue. Après avoir sorti les volets 40, le CdB réalise que la vitesse de l'aéronef est de 125 kt (Vref - 10kt). L'altitude est alors d'environ 1 500 ft. Le CdB reprend les commandes et ordonne une remise de gaz. Environ deux secondes plus tard, le stick shaker se déclenche. Le CdB applique alors la pleine poussée et pousse sur le manche. Le PA passe en mode CWS. L'assiette se stabilise vers 5° à cabrer. La vitesse minimale durant cette période est de 101 kt.

La poussée des moteurs continue d'augmenter, le PA se déconnecte, l'assiette recommence à croître et le stick shaker se déclenche de nouveau. Malgré l'action à piquer du CdB, l'assiette atteint 22° à cabrer. L'alarme de décrochage s'arrête mais reprend quelques secondes plus tard alors que les volets sont en cours de rétraction et que l'assiette augmente de nouveau, passant 27° à cabrer. Le copilote annonce au CdB que l'assiette à cabrer est excessive. Ce dernier lui répond qu'il pousse sur le manche à piquer en butée.

L'assiette atteint plus de 36° à cabrer, la vitesse est alors de 107 kt et l'avion est en roulis à gauche (~ 13°). Une action sur la gouverne de direction permet de rétablir les ailes horizontales mais l'avion est en décrochage et l'assiette atteint 44° à cabrer. Elle commence à diminuer et la vitesse diminue encore pendant quelques secondes, atteignant un minimum de 82 kt au moment où l'assiette est de 33° à cabrer. Après avoir atteint 2 500 ft, l'avion descend. Le CdB réduit légèrement la poussée et parvient à reprendre le contrôle de l'avion vers 2 000 ft. C'est alors que la première action de trim manuel à piquer intervient. L'équipage effectue une deuxième approche durant laquelle le PA et l'AT fonctionnent normalement.

Analyse / Conclusion

L'équipage n'a pas remarqué la position très à cabrer du trim et a mis beaucoup de temps à la corriger. Bien que l'avion n'ait pas de fonction autotrim en pilotage manuel, le PA le déplace comme nécessaire. Même si le CdB a remis les gaz avant le décrochage (et même avant l'activation du stick shaker), l'avion était trimmé assez fortement à cabrer. L'accélération normale n'a jamais dépassé 1,3 g.

L'enquête a identifié les causes suivantes :

- l'avion a décéléré au cours d'une approche aux instruments, à une vitesse nettement inférieure à celle commandée, avec les moteurs au ralenti. Malgré l'application de la pleine poussée, l'avion a décroché après quoi, l'équipage n'a pas correctement appliqué les actions permettant de sortir de cette situation ;
- la position du plan horizontal réglable, combinée à l'application de la poussée maximale, a surpassé l'autorité de la gouverne de profondeur.

Par ailleurs, l'équipage n'a pas détecté le désengagement de l'AT. La cause de la déconnexion de l'AT n'a pas été déterminée.

Enseignements / Recommandations

Compte tenu des procédures internes à la compagnie, la gravité de l'événement n'a été détectée que douze jours après et les enregistreurs réglementaires n'avaient pas été prélevés. Seules les données du QAR ont pu être analysées. Trois recommandations ont été émises par l'AAIB. Elles concernent :

- le système d'avertissement de l'AT :

It is recommended that Boeing, in conjunction with the Federal Aviation Administration, conduct a study of the efficacy of the Boeing 737-300/400/500 autothrottle warning system and if necessary take steps to improve crew alerting. (Safety Recommendation 2009-043) ;

- la modification du règlement CS 25 pour s'assurer que les pannes des systèmes de commandes de vol (dont l'AT) soient convenablement présentées à l'équipage :

It is recommended that The European Aviation Safety Agency review the requirements of Certification Standard to ensure that the disengagement of autoflight controls, including autothrottle, is suitably alerted to flight crews. (Safety Recommendation 2009-044) ;

- la modification de la procédure QRH « approach to stall » de façon à ce que le fait de trimmer à piquer soit clairement présenté comme une action qui peut être nécessaire pour regagner le contrôle en tangage :

It is recommended that Boeing clarify the wording of the Boeing 737 300-500 approach to stall recovery Quick Reference Handbook Non-normal Manoeuvres to ensure that pilots are aware that trimming forward may be required to enhance pitch control authority. (Safety Recommendation 2009-045).

Evénement 8

Nature de l'événement	Accident
Date et heure	27 Novembre 2008
Lieu	En approche à Perpignan
Aéronef	A 320-232
Référence	http://www.bea.aero/docspa/2008/d-la081127/pdf/ d-la081127.pdf

Déroulement du vol

Le vol GXL888T est un vol de vérification effectué en fin de location, avant restitution de l'avion à son propriétaire. Le CdB est PF et le copilote est PNF. Un troisième pilote de l'exploitant propriétaire de l'appareil est assis en siège observateur et participe au suivi des vérifications. Le programme de vérification ne pouvant être effectué en circulation aérienne générale, le vol a été écourté. L'équipage a alors adapté au cours du vol de manière improvisée le programme de vérifications en fonction des contraintes du plan de vol et des services de contrôle aérien.

En palier au FL 320, les sondes d'incidence 1 et 2 se sont figées et leurs positions n'ont plus évolué jusqu'à la fin du vol, sans que cela soit détecté par les membres d'équipage. De retour vers l'aérodrome de Perpignan, peu avant le survol du point d'approche initiale, l'équipage décide sans préparation, et en particulier sans annonce des vitesses minimum théoriques indiquées dans le document à sa disposition, d'effectuer la vérification des protections en incidence en loi « *normale* » à une altitude d'environ 4 000 ft.

Or, le blocage des sondes d'incidence 1 et 2 à des valeurs identiques a inhibé le fonctionnement des protections et conduit à un affichage erroné des vitesses caractéristiques de ces protections. L'équipage a attendu le déclenchement de ces protections en laissant décroître la vitesse. L'alarme de décrochage en loi « *normale* » se déclenche une première fois à une incidence proche de l'incidence théorique en configuration atterrissage. Lors de la décélération, le trim de profondeur a progressivement atteint la position en butée à cabrer. Le stabilisateur horizontal est resté dans cette position jusqu'à la fin du vol. Le CdB réagit conformément à la technique d'approche du décrochage, en augmentant la poussée moteur et en diminuant l'assiette.

La loi de commande de vol est peu après passée de « *normale* » à « *directe* » en raison d'un écart de mesure de vitesses. Pour cette raison, le système de compensation automatique n'était plus disponible. Sous l'effet conjugué de la poussée et de l'augmentation de la vitesse, l'avion a subi un moment cabre que le commandant de bord ne pouvait pas contrer sans actions sur la roue de compensation ou sans réduction de manière prolongée de la poussée des moteurs.

Du fait de la position du compensateur et du couple à cabrer généré par les moteurs à la puissance maximale, l'équipage a perdu le contrôle de l'avion au cours de la remise de gaz. L'avion a entièrement été détruit lors de l'impact avec la surface de la mer.

Analyse

L'enquête a conclu que l'accident résulte de la perte de contrôle de l'avion par l'équipage consécutive à la démonstration improvisée du fonctionnement des protections en incidence, alors que le blocage des sondes d'incidence rendait impossible le déclenchement de ces protections.

L'équipage n'avait pas connaissance du blocage des sondes d'incidence. Il n'a pas pris en compte les vitesses mentionnées dans le programme de vérifications à sa disposition et n'a par conséquent pas interrompu la démonstration avant le décrochage.

Ont, entre autres, contribué à l'accident les facteurs suivants :

- la décision de réaliser la démonstration à faible hauteur ;
- la non-gestion, lors de la remise de gaz, de la forte augmentation de l'assiette longitudinale par l'équipage qui n'a, ni identifié la position en butée à cabrer du stabilisateur horizontal, ni agi sur la roue de compensation pour la corriger, ni réduit la poussée des moteurs.

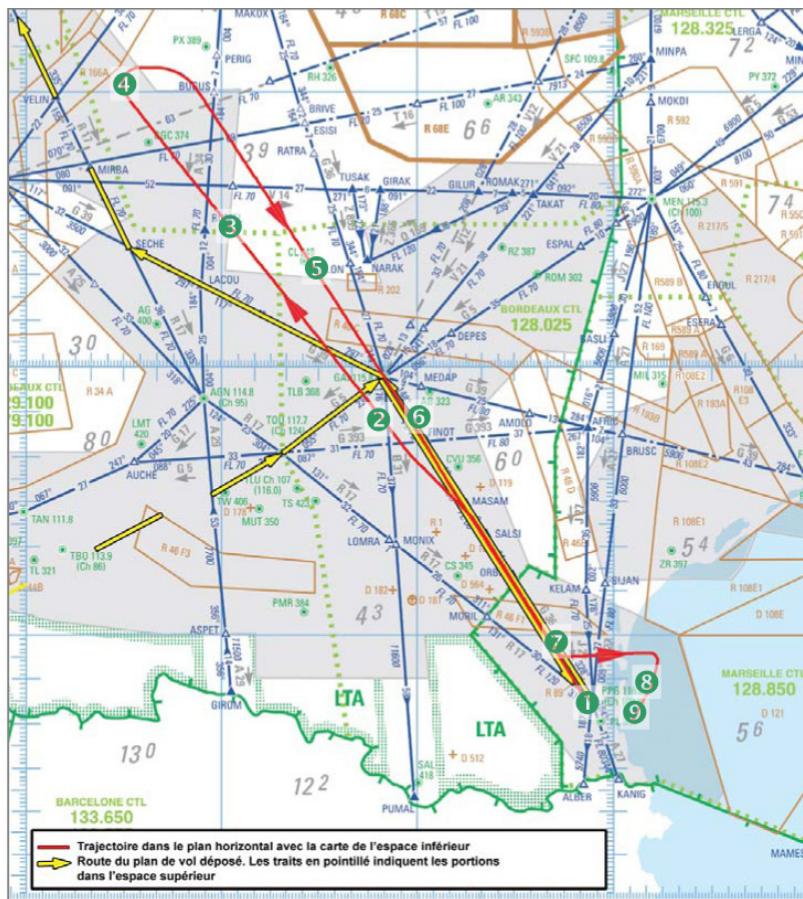
Ont probablement contribué à l'accident les facteurs suivants :

- la coordination déficiente au sein d'une équipe atypique de trois pilotes de ligne dans le poste de pilotage ;
- la fatigue, qui a pu atténuer la réceptivité de l'équipage aux différentes informations relatives à l'état des systèmes.

Recommandations :

Le BEA a émis différentes recommandations de sécurité:

- que l'AESA effectue une étude de sécurité en vue d'améliorer les normes de certification des systèmes d'avertissement des équipages lors des reconfigurations des systèmes de commandes de vol ou la formation des équipages sur l'identification de ces reconfigurations et la détermination de leurs conséquences opérationnelles immédiates ;*
- que l'AESA, en coopération avec les constructeurs, fasse évoluer les exercices d'entraînement et les procédures relatives aux techniques d'approche du décrochage pour assurer le contrôle de l'avion en tangage.*



- 1** **14 h 44**
Décollage de l'aérodrome de Perpignan
- 2** **14 h 52**
Le contrôleur dit à l'équipage qu'il ne peut pas faire de « 360 »
- 3** **Entre 15 h 04 et 15 h 06**
Blocage des sondes d'incidence 1 et 2
- 4** **15 h 12**
Demi-tour
- 5** **15 h 22**
Arrivée au FL 390
- 6** **15 h 26**
Début de descente
- 7** **15 h 34 min 34 s**
Copilote : « (...) we'll appreciate a radar vector the approach »
- 8** **15 h 43 min 41 s**
Manettes de commande de poussée sur le cran IDLE
Début de la vérification des protections en incidence à basse vitesse
- 9** **15 h 45 min 05 s**
Alarme de décrochage

BEA

Figure 3 : trajectoire du vol GXL888T dans le plan horizontal

Evénement 9

Nature de l'événement	Incident grave
Date et heure	23 septembre 2009
Lieu	En approche à Roissy
Aéronef	A 319-111
Référence	http://www.bea.aero/docspa/2009/f-hu090923/pdf/ f-hu090923.pdf

Description de l'incident

Le commandant de bord, PF, effectue une approche ILS CAT 1 en piste 27 droite en mode manuel et sans l'A/THR. Aux minima, à 200 ft, il ne voit pas la piste et décide d'effectuer une remise de gaz. Il engage le pilote automatique. L'avion redescend et une alarme EGPWS retentit. La hauteur la plus basse enregistrée est de 76 ft. L'alarme EGPWS et/ou la vue du sol font réagir le CdB qui déconnecte le PA et affiche alors une assiette à cabrer voisine de 10°.

Le CdB effectue trois tentatives d'enclenchement du PA qui conduisent trois fois au même comportement à piquer de l'avion. Lors du briefing avant l'atterrissement, le CdB a indiqué qu'en cas de remise de gaz, il effectuerait une manœuvre souple et positionnerait les manettes de poussée dans le cran TOGA puis CLIMB. Le CdB a cru positionner les manettes dans le cran TOGA alors qu'il les a placées dans le cran FLEX/ MCT. Par ailleurs, il a été surpris par les réactions de l'avion, notamment la prise d'assiette à piquer et l'augmentation rapide de la vitesse. Il a alors ramené les manettes de poussée sur le cran CLB afin de réduire la vitesse.

Fonctionnement des automatismes

Lorsque les modes d'approche (G/S et LOC) sont sélectionnés, le mode LAND s'engage automatiquement en dessous de 400 ft. Lors de cet incident, les manettes de poussée n'ont pas été amenées dans le cran TOGA. Les modes de remise des gaz n'ont donc pas été activés et l'avion est resté en mode atterrissage (LAND).

L'engagement du PA en mode LAND a entraîné le rattrapage du plan de descente (assiette - 3,9° à piquer). La poussée affichée a entraîné une augmentation rapide de la vitesse.

Cinq secondes ont été nécessaires pour déplacer les manettes de IDLE à MCT/FLX. Ce délai est long alors que l'affichage de toute la poussée possible doit être le plus rapide possible. Il répondait à la volonté du CdB de réaliser cette manœuvre souplement.

L'engagement rapide du PA ne correspondait pas à un projet d'action commun. À partir de cet instant, il n'y a plus eu de synergie au sein de l'équipage, le copilote ne comprenant pas les actions du CdB.

Analyse

Le CdB a été surpris par les réactions de l'avion. Il est probable qu'il s'est focalisé sur l'augmentation de la vitesse et a tenté d'éviter le déclenchement de l'alarme VFE en réduisant la poussée.

Les informations du FMA n'étaient pas celles d'une remise de gaz. Il semble que le CdB ne les ait pas vues. Le copilote n'a pas non plus prévenu le CdB des écarts constatés sur la poussée, la vitesse, l'assiette, la hauteur ou les informations du FMA.

Cet incident grave de perte d'altitude en remise de gaz est notamment dû à :

- l'absence d'activation des modes de remise de gaz, conséquence du positionnement des manettes de poussée dans un cran inadapté ;
- l'engagement du pilote automatique dans un mode inadapté ;
- une absence de surveillance de l'assiette ;

Les facteurs suivants ont pu contribuer à l'incident :

- des imprécisions dans la rédaction de la procédure à disposition de l'équipage ;
- une dérive dans l'application de la procédure liée à la prise en compte des contraintes d'exploitation.

Recommandations

Le BEA a émis deux recommandations dont l'une mentionne :

- que la DSAC s'associe au constructeur et aux exploitants pour conduire une revue des procédures de remise de gaz de façon à les mettre en adéquation avec les objectifs de cette manœuvre.***

Evénement 10

Nature de l'événement	Incident
Date et heure	11 Octobre 2010
Lieu	En approche à New York JFK
Aéronef	A 380
Référence	Etude PARG

Déroulement du vol

L'avion vient d'effectuer un vol transatlantique. En approche pour la piste 31 L sous guidage radar, le copilote PF effectue une branche vent arrière main gauche à 3 000 ft. Le CdB est PNF et il indique être fatigué.

Le PA et l'A/THR sont engagés, les volets sont sortis en CONF 1, le mode LOC est armé et l'altitude de 2 000 ft est sélectionnée. En dernier virage, l'avion débute sa descente. En finale, l'équipage reçoit une clairance d'approche à vue. Le PF sélectionne la vitesse de 210 kt. Le FMA affiche les modes THR IDLE/OPEN DES/HDG.

Le PF n'engage pas le mode GLIDE et l'avion passe au-dessus du plan. Le PF désengage alors le PA et poursuit manuellement l'approche finale. Il ne désengage pas les FD.

Alors que l'avion se trouve au-dessus du plan à l'altitude de 2 800 ft, les volets sont sortis en CONF 2 ainsi que le train. La poussée commandée par l'A/THR est au ralenti.

Vers 2 200 ft, le mode ALT* s'engage. L'avion est à 5 NM du seuil à la vitesse de 210 kt.

Le PF poursuit la descente manuellement. Lorsque l'avion est à 4 NM, il se trouve à une altitude de 1 840 ft et deux points au-dessus du glide. La barre verticale du DV passe progressivement en butée haute. La vitesse verticale est de 1 600 ft/min et les aérofreins sont sortis en position FULL. Le FMA affiche les modes SPEED/ALT/LOC*.

Sur cette piste, le plancher de stabilisation est à 500 ft et l'altitude de RdG est de 1 000 ft, ce qui laisse peu de temps pour exécuter une éventuelle procédure de remise de gaz.

Vers 1 600 ft, l'altitude de 1 000 ft est affichée. Le PF intercepte manuellement le localizer et commande la sortie des volets en CONF 3. L'approche n'est pas stabilisée et la vitesse reste excessive (210 kt). Les volets sont maintenus en CONF 2, puis rentrés en CONF 1. Le localizer est capturé vers 1 300 ft et le FMA affiche SPEED/ALT/LOC. À 680 ft, les volets sont repositionnés en CONF 2. L'avion est toujours au-dessus du plan et à 1 NM du seuil. A 480 ft, l'approche n'est toujours pas stabilisée et la vitesse reste de 210 kt. Une remise de gaz est ordonnée par le CdB, ce qui surprend le copilote focalisé sur l'atterrissement.

Elle est effectuée manuellement et les manettes de poussée sont avancées dans le cran TOGA. Le FMA affiche les modes de RdG et l'assiette est nulle.

Le CdB contacte l'ATC à quatre reprises pour demander une altitude de stabilisation supérieure à celle de la procédure. Ces communications occupent 13 secondes sur les 45 de durée de la remise de gaz.

Le PF recule les manettes vers l'arrière dans le cran MCT et le PNF ne s'en aperçoit pas.

L'assiette de l'avion est d'environ 2,5°. Les volets ne sont pas rentrés d'un cran.

La vitesse dépasse la VFE CONF2 d'une douzaine de noeuds. L'alarme overspeed (CRC) se déclenche à VFE + 4kt. Les volets commencent à rentrer en raison de la protection FLAP LOAD RELIEF.

L'avion passe 660 ft en montée avec une vitesse verticale positive de 3 400 ft/min. Le mode ALT* s'engage , deux secondes plus tard, les volets sont rentrés en CONF 1. Le dépassement des VFE aura duré douze secondes. La barre FD passe en dessous de la maquette avion, demandant de diminuer l'assiette. La vitesse verticale est alors d'environ 4 200 ft/min.

Passant 850 ft, LVR CLIMB flashe au FMA mais les manettes ne sont pas ramenées dans le cran CLIMB. L'avion continue de monter en mode MCT, passe l'altitude de stabilisation (1 000 ft) avec une vitesse verticale de 4 000 ft/min. Au cours d'une première stabilisation vers 1 600 ft, l'équipage effectue un virage à gauche en accélération vers un maximum de 301 kt. Les manettes de poussée sont ramenées vers CLIMB. L'A/THR se réengage en mode SPEED et la poussée effective diminue vers IDLE. L'avion remonte ensuite pour une vent arrière à l'altitude de 2 000 ft avec une vitesse de 220 kt, après que l'équipage a obtenu une clairance de l'ATC. Plus tard, il atterrit sans autre incident en 31 L.

Analyse

La faible différence entre les altitudes de décision et de rétablissement de la remise de gaz a donné peu de temps à l'équipage pour gérer la montée rapide d'un avion allégé à forte poussée.

2.2 Synthèse

Une grille de lecture des événements cités au paragraphe 2.1 figure en annexe 2.

Elle fait ressortir les faits suivants :

Eléments communs

Les événements étudiés ne concernent que des avions bi-réacteurs à l'exception d'un quadri-réacteurs. Tous les accidents de type PARG répertoriés dans l'étude se sont produits avec tous les moteurs en fonctionnement, à l'exception a priori de celui survenu au B 737 de Port Soudan. En fin de vol, les biréacteurs sont relativement légers et la poussée est largement supérieure à celle réellement utile.

A l'exception de deux événements (6, 13), de très larges excursions en vitesse et en assiette sont notées, et par conséquent en vitesse ascensionnelle et en altitude.

Lors de tous ces événements, un élément perturbateur intervient dès la mise en poussée et induit des manœuvres potentiellement dangereuses. Il peut être amplifié par d'autres facteurs et engendrer une surprise pour l'équipage.

Visibilité extérieure

Six événements (1, 8, 10, 14, 15, 16) se déroulent de jour sans problème apparent de visibilité ; un cas (4) est sans précision à ce sujet ; neuf cas (2, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13) présentent des conditions IMC, facteur probable d'aggravation de la difficulté.

Rôle du PNF/PM

Dans onze cas (2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 16), le PNF/PM effectue les tâches initiales prévues en RdG (train, volets). Sur ces onze cas, quatre actions du PNF/PM ont eu des effets bénéfiques (4, 5, 7, 14) pour une reprise de contrôle par le PF, un a été négatif (15), six sont sans effet (2, 6, 8, 11, 13, 16). On ne peut rien dire sur les intentions du PNF/PM dans quatre cas (1, 3, 9, 12).

En revanche, une fois les actions initiales effectuées, la surveillance insuffisante du PNF/PM est mentionnée dans neuf cas.

Origine des perturbations

Dans dix cas (1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 12, 16), le fort et rapide couple cabreur des moteurs, à faible vitesse, place le pilote dans une situation nécessitant une grande vigilance. Toute perturbation supplémentaire peut accaparer une part importante de l'attention nécessaire au pilotage.

Les origines de cette perturbation sont très diverses mais beaucoup ont reçu une amplification inattendue (souvent secondaire mais toujours forte) par les automatismes.

Un problème technique est survenu dans quatre cas (7, 8, 11, 12).

Un mauvais affichage de l'altitude de RdG est noté dans deux cas (3, 5).

Le non-respect de l'affichage de la poussée TOGA est à l'origine de deux cas (6, 9), ce qui a provoqué un fonctionnement inapproprié des automatismes et créé une confusion.

Le non-respect des trajectoires d'approche ou de la finale, provenant de l'ATC (14, 15) ou du pilote (2, 13) peut être évoqué dans quatre cas.

Facteurs amplificateurs

Le fonctionnement inattendu ou « *oublié* » du PA et/ou du trim de profondeur est un facteur aggravant avéré dans huit cas (1, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 16). La surveillance des paramètres et des automatismes n'a pas pu être réalisée.

La prise en compte des sensations parasites inertielles (illusions somatograviques) est citée, dans les rapports, quatre fois (2, 3, 5, 13) et suspectée deux fois (11, 12).

Les alarmes ont été considérées comme perturbations possibles dans quatre cas (2, 3, 5, 6). Il est possible que les alarmes VFE ont joué un rôle de fixateur de l'attention sur la Vc dans tous les cas sauf deux pour lesquels les évolutions en vitesse sont incertaines (6, 13).

La focalisation de l'attention est probable dans deux cas (10 sur les informations ILS, 13 sur la navigation à vue).

FMA

Des modes non conformes à ceux attendus lors d'une RdG sont présents dans les événements 4, 5, 6, 9, 10 et 13.

ATC

L'intervention de l'ATC est un facteur contributif dans les cas 3, 10, 12, 14, 15 et 16. Dans le cas 3, le changement de la procédure en cap et altitude est mentionné. Dans le cas 10 le changement en altitude est demandé par l'équipage car l'altitude de remise de gaz est trop faible.

CRM

Un défaut de CRM est mentionné dans tous les accidents.

Manettes de poussée sur Airbus

Dans les cas 2, 3, 5 les manettes de poussée ne sont pas avancées en position TOGA lors de la remise de gaz.

Dans le cas 10, les manettes ne sont pas ramenées vers le cran CLIMB.

Dans le cas 7, les manettes sont amenées dans le cran MCT, après être passées par TOGA puis CLIMB.

3 – SONDAGE PNT

3.1 Mise en place du sondage

3.1.1 Participation au sondage

Un sondage a été diffusé auprès des PNT des compagnies françaises suivantes : Aigle Azur, Air France, Airlinair, Brit Air, CorsairFly, Europe Airpost, Regional. Des compagnies britanniques ont également été sollicitées : BMI, British Airways, easyJet et Thomson Fly.

L'objectif était de profiter de leur expérience pour :

- mieux appréhender les éventuelles difficultés liées à la RdG ;
- recueillir leurs témoignages sur leurs expériences de RdG en ligne et au simulateur ;
- déterminer si, statistiquement, des facteurs contributifs pouvaient être mis en évidence.

Les équipages ont donc été sollicités à travers un questionnaire anonyme hébergé sur le site du BEA. Au total, 950 pilotes y ont participé et 831 réponses ont été validées en fin de questionnaire. Ces 831 réponses correspondent à des PNT d'expérience variable.

3.1.2 Réalisation du sondage

Le questionnaire reste accessible à l'adresse suivante (<http://www.bea.aero/etudes/parg/parg.php>).

Les questions ont été divisées en différentes parties relatives à :

- la quantification du nombre de RdG et les principales raisons ayant entraîné ces RdG ;
- l'expérience en ligne, les difficultés rencontrées par les PNT et leurs témoignages ;
- l'expérience en simulateur ;
- le retour d'expérience des instructeurs, le cas échéant ;
- la formation ;
- la qualification et le profil du PNT.

Le questionnaire était principalement constitué de questions fermées ou à choix multiples. Les quelques questions ouvertes concernaient leur expérience. L'évaluation des difficultés a été exprimée sur une échelle de 1 (peu difficile) à 4 (très difficile).

3.2 Résultats

La totalité des 831 réponses a été étudiée. Cette exploitation a été divisée en trois parties :

- une analyse statistique des résultats globaux ;
- l'exploitation des témoignages des pilotes ;
- l'exploitation de témoignages d'instructeurs.

Ces témoignages ont représenté 90 cas de constats et d'avis exprimés par des pilotes en opération et 72 cas de constats et d'avis exprimés par des pilotes-instructeurs.

3.2.1 Résultats statistiques

Statistiques Générales

Avant de détailler les résultats issus du sondage, le BEA a estimé le nombre de remises de gaz effectuées par un pilote au cours de sa carrière en s'appuyant sur les chiffres communiqués par Air France et ceux fournis par les principaux aéroports européens.

Il en ressort qu'en général :

- entre 2 et 4 remises de gaz pour 1 000 vols sont enregistrées ;
- un PNT moyen courrier effectue en moyenne une remise de gaz par an ;
- un PNT long courrier effectue une remise de gaz tous les 5 à 10 ans.

Par ailleurs, les principaux facteurs de déclenchement d'une RdG sont en proportion comparables (source Air France) :

- les conditions météorologiques (vent arrière, cisaillement de vent, turbulences...) ;
- la conduite du vol (ANS, alarme GPWS ...) ;
- l'ATC (piste occupée, séparation, demande ATC de RdG).

Résultats pour la population de pilotes ayant répondu au sondage

Sur les 831 PNT, 8 n'ont jamais effectué de RdG en ligne que ce soit en tant que PF ou PNF. En tant que PF, 474 PNT (57 %) ont effectué moins de 5 RdG, 31 PNT n'en ont jamais réalisé. En tant que PNF, 594 PNT (71,5 %) ont effectué moins de 5 RdG, 53 PNT n'en ont jamais réalisé.

449 PNT (54 %) ont effectué 4 RdG ou moins en tant que PF **ET** 4 RdG ou moins en tant que PNF. En d'autres termes, plus de la moitié des pilotes interrogés ont fait moins de 9 RdG au stade de leur carrière où ils ont témoigné.

Les PNT ont également été invités à indiquer le nombre de RdG en fonction de leur qualification machine.

Type de machine	Nombre de remises de gaz effectué						Pourcentage par rapport au nombre de PNT total ayant répondu
	0	1	2	3	4	sup à 5	
A300/A310	12	16	24	7	6	12	9,3
A320	11	39	94	106	108	224	70,0
A330/A340	27	47	45	33	17	17	22,4
A380	14	6	1	0	1	3	3,0
B727	11	8	11	7	2	6	5,4
B737	10	31	54	36	21	50	24,3
B737NG	9	9	9	4	4	7	5,1
B757/767	16	7	8	4	3	11	5,9
B747	21	42	58	27	15	20	22,0
B777	37	47	45	26	4	12	20,6
MD80 B717	7	2	4	2	1	3	2,3
F70 / F100	8	6	5	8	1	8	4,3
ERJ135 - ERJ145	4	6	15	16	14	24	9,5
ERJ170 - ER190	7	4	12	2	2	3	3,6
CRJ100 - CRJ200 - CRJ700 - CRJ1000	6	3	5	4	3	15	4,3
BAE146	7	4	10	11	4	10	5,5
TURBOPROPULSEURS	7	35	37	25	14	83	24,2
AUTRES	7	10	19	11	4	68	14,3

Ainsi, la grande majorité des personnes interrogées est ou a été qualifiée sur A320. Un second groupe apparaît pour les familles A330-A340, B737, B777 et B747.

Raison de la RdG

Les raisons pour lesquelles une RdG a été réalisée se répartissent uniformément entre :

- une cause ATC ;
- un environnement météorologique particulier ;
- une approche non stabilisée.

Ces trois facteurs représentent 70 à 80 % des réponses.

30 % des pilotes interrogés ont réalisé au moins une RdG en exploitation en dessous des minima.

Difficultés exprimées en ligne

En moyenne, 60 % des personnes interrogées ont indiqué avoir rencontré des difficultés lors d'une RdG.

365 pilotes (44 % des PNT) ont donné des précisions sur ces difficultés lors de leur RdG. Près de la moitié (42 % - 153) d'entre eux ont également indiqué avoir rencontré des difficultés en simulateur.

Difficultés exprimées	peu ou pas difficile en %	difficile très difficile en %	Difficulté non évaluée en %
Prise ou maintien de l'assiette	66,8	11,6	21,6
Gestion de la poussée	53,2	28,8	18,0
Gestion de la trajectoire horizontale	48,9	28,8	22,3
Gestion de la trajectoire verticale : interception de l'altitude de remise de gaz	35,2	49,0	15,8
Gestion de la configuration	44,2	38,5	17,3
Gestion des automatismes	36,5	46,2	17,3
Gestion du trim	61,3	4,9	33,8
CRM : prise de décision	51,4	26,9	21,7
CRM : répartition des tâches	61,4	15,9	22,7
CRM : respect de la procédure opérationnelle standard	47,9	32,6	19,5
Gestion du circuit visuel/focalisation	39,7	37,3	23
Maîtrise de la désorientation spatiale liée aux accélérations	58,9	14,2	26,9
Gestion d'un changement de trajectoire demandé par l'ATC	38,9	37,8	23,3

Lorsque la personne interrogée était instructeur, elle était invitée à faire part de l'évaluation générale des difficultés rencontrées par les stagiaires.

Difficultés exprimées	Peu ou pas	Difficile très difficile	Difficulté non évaluée
Prise ou maintien de l'assiette	28,3	58,3	13,4
Gestion de la poussée	43,3	42,5	14,2
Gestion de la trajectoire horizontale	37,0	40,9	22,1
Gestion de la trajectoire verticale : interception de l'altitude de remise de gaz	21,2	63,9	14,9
Gestion de la configuration	39,4	42,5	18,1
Gestion des automatismes	20,5	66,9	12,6
Gestion du trim	46,5	8,6	44,9
CRM : prise de décision	28,3	48,9	22,8
CRM : répartition des tâches	52,0	20,5	27,5
CRM : respect de la procédure opérationnelle standard	49,6	24,4	26
Gestion du circuit visuel/focalisation	26,8	53,5	19,7
Maîtrise de la désorientation spatiale liée aux accélérations	48,0	15,0	37,0
Gestion d'un changement de trajectoire demandé par l'ATC	39,4	29,9	30,7

Ainsi, les principales difficultés indiquées par les PNT concernent la capture de l'altitude de stabilisation et la gestion des automatismes. A l'inverse, la gestion du trim de profondeur, de la poussée et la répartition des tâches n'apparaissent pas comme des difficultés majeures.

Les principales difficultés observées par les instructeurs sont la gestion des automatismes (67 %), l'interception de l'altitude de stabilisation (64 %), et la gestion de l'assiette (58 %). Apparaissent ensuite, dans près de 50 % des avis exprimés, la gestion du circuit visuel et la prise de décision.

Formation

Les PNT interrogés indiquent globalement être suffisamment entraînés aux RdG avec un moteur en panne (85 % des pilotes). A contrario, près d'un PNT sur deux indique être insuffisamment entraîné aux RdG tous moteurs en fonctionnement. Ce chiffre augmente encore parmi ceux qui ont indiqué avoir rencontré des difficultés en ligne. La formation initiale n'est pas présentée comme une cause des difficultés rencontrées.

Par ailleurs, les PNT ont fait part de réflexions sur l'amélioration de la RdG. Celles-ci portent, pour la plupart, sur les points suivants :

- Les évolutions de procédures ATC :
 - augmentation de l'altitude de stabilisation : « *augmenter lorsqu'elles sont trop basses les altitudes de remises de gaz* » ;
 - simplifier les trajectoires : « *Avoir au moins une partie de la trajectoire simple (en plan ou en axe), mais pas les deux (virage et changement d'altitudes concomitant ou nombreux)* ». « *Idéalement, sans contrainte de relief, elle devrait être dans l'axe vers une hauteur supérieure à 3 000 ft. Elles sont trop souvent très compliquées avec des virages trop tôt et altitudes trop basses* » ;
 - suppression des messages radio dans les phases demandant toute l'attention de l'équipage.

- Les évolutions de procédures des exploitants :
 - retour vers une procédure simple : « 1) l'assiette pour éviter le CFIT. 2) la poussée pour s'éloigner du sol et assurer la montée. 3) la vérification du/des automatismes. 4) la rentrée du train et des volets. 5) la trajectoire pour revenir se poser » ;
 - temporiser la rentrée des traînées, notamment sur les avions de dernière génération : « temporiser avec tous moteurs en fonctionnement, la rentrée des traînées qui peuvent largement attendre et se focaliser sur les actions vitales de pilotage : prise d'assiette, affichage exact de la poussée TOGA puis [de la] poussée nécessaire, et ne pas se précipiter sur les actions de rentrée des traînées et leurs annonces respectives qui sont très [consommatoires] en ressources cognitives. » ;
 - « faire annoncer l'assiette par le PF ou le PNF/PM ».
- L'amélioration des aides aux pilotages grâce à :
 - la simplification des automatismes : « difficultés à se remettre dans la boucle lorsque les automatismes font un travail jugé inefficace ».
- L'amélioration de la formation grâce à :
 - l'entraînement plus fréquent aux RdG tous moteurs en fonctionnement : « faire des RdG tous moteurs en fonctionnement au simulateur pour des causes non prévues au programme et laissées à la discréption de l'instructeur » ;
 - l'entraînement aux RdG « haute énergie » : « Faire des R/G haute énergie, ce qui ressemble plus à un changement de configuration et de projet d'action » ;
 - l'entraînement aux RdG réelles par « le Vol Hors Ligne ».
- L'enseignement et la description d'un circuit visuel standard : « que doivent faire les yeux du PF du PNF/PM » ou « aller chercher [...] les informations ? ».
- L'amélioration des simulateurs.

3.2.2 Témoignages pilotes

Sur les 831 pilotes, 254 pilotes (31 % des PNT) ont fait part de leur expérience de façon plus détaillée. Parmi ces nombreux témoignages, seul un nombre limité a été sélectionné en raison d'une grande variété de cas (description de situations, de difficultés, l'expression d'avis et de remarques).

C'est ainsi que 90 témoignages ont été finalement retenus car ils comportaient une description détaillée de la réalisation d'une remise de gaz vécue. L'exploitation du questionnaire s'est effectuée en plusieurs phases.

La première a permis de dégager, de manière significative, les difficultés suivantes :

- les modifications de trajectoire par l'ATC,
- les communications de l'ATC jugées inopportunnes au moment de la RdG ou les changements de fréquence trop précoces,
- les procédures présentant une faible altitude de rétablissement,
- des erreurs d'enclenchement du mode TOGA,
- la difficulté de conjuguer poussée maximale avec suivi de la trajectoire.

Une seconde phase a permis d'affiner les 90 témoignages recueillis et d'établir deux grilles. La première est descriptive. La seconde, plus subjective, s'est basée sur le jugement d'experts participant à l'étude. Parmi eux figurent le fondateur d'Airbus Training Center et des spécialistes en facteurs humains.

Raison de la RdG

La figure suivante met en évidence le fait que les difficultés concernent l'ensemble des remises de gaz, quelle qu'en soit la cause. De façon générale, la répartition reflète les raisons du déclenchement d'une RdG. 54 pilotes ont répondu à cette question.

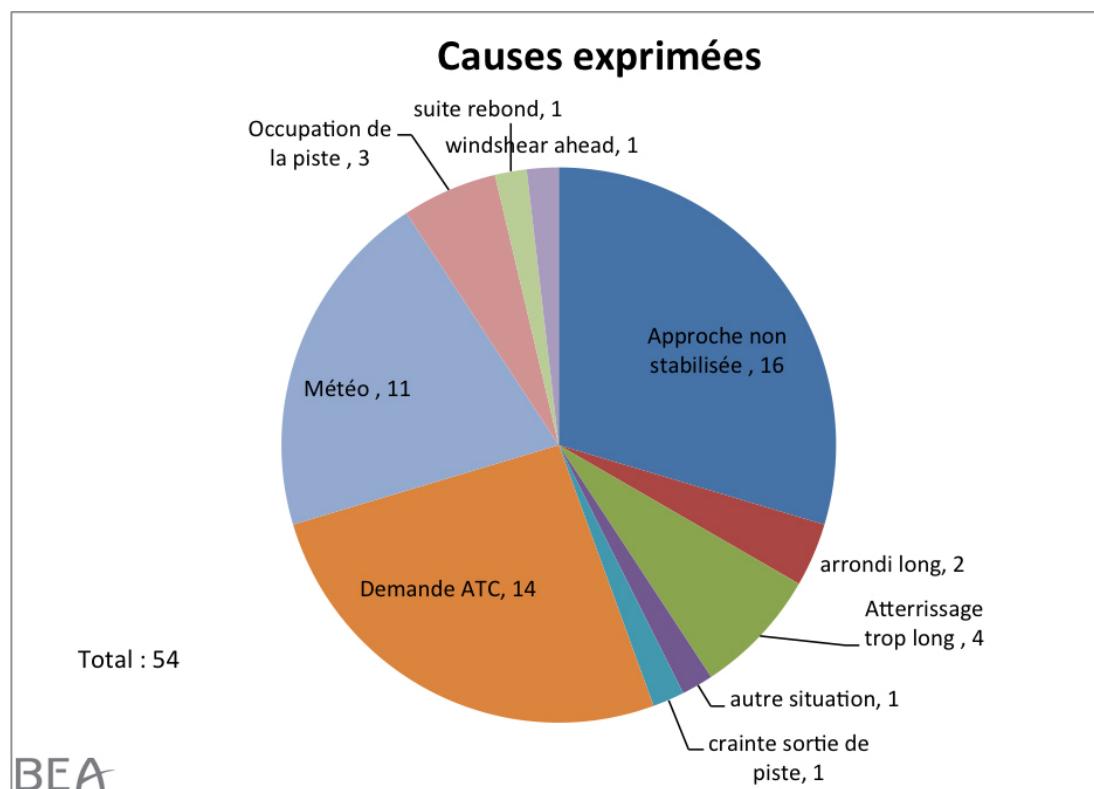


Figure 4 : raisons de la remise de gaz

Difficultés exprimées

Une RdG est ressentie comme une interruption momentanée du déroulement optimal d'une mission en fin de vol. Elle est en quelque sorte intempestive.

Des éléments perturbateurs peuvent complexifier la gestion de la manœuvre. Certains apparaissent en amont de la RdG, d'autres se produisent pendant la manœuvre. Ils sont reportés sur le graphique suivant :

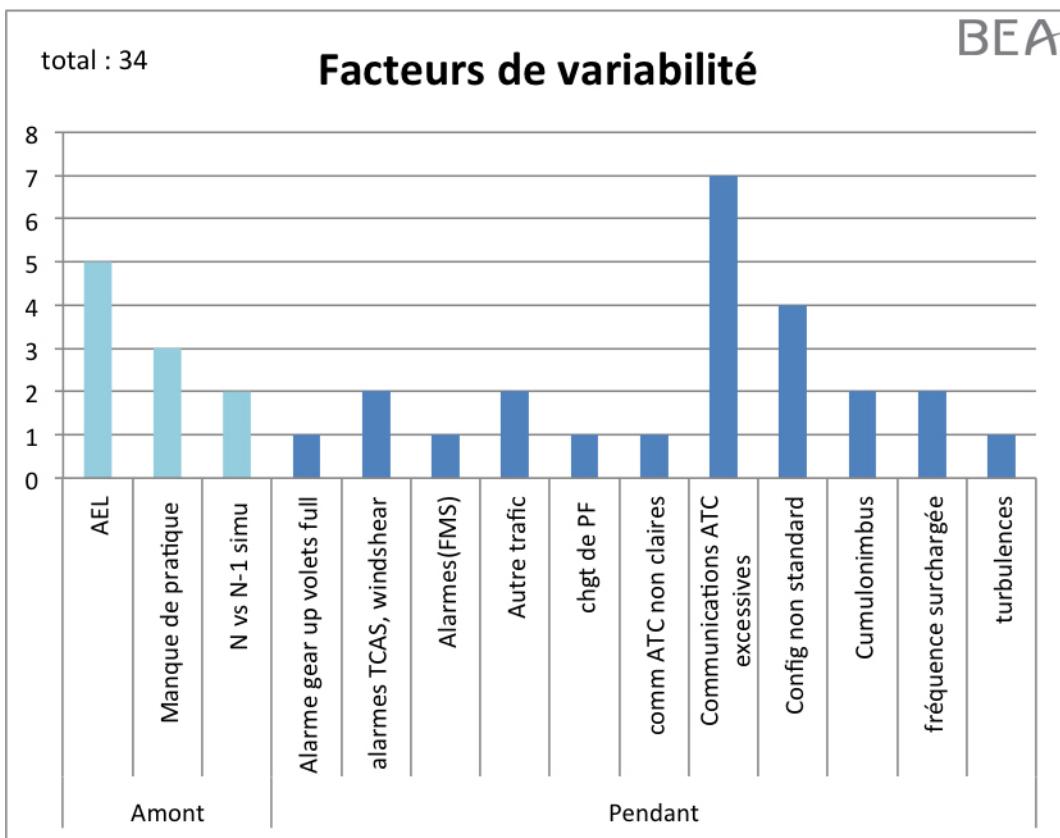


Figure 5 : facteurs de variabilité rapportés dans les sondages (ou éléments perturbateurs)

Sur les 90 témoignages, plus d'un tiers font mention d'éléments perturbateurs. L'ATC est souvent mentionnée qu'il s'agisse de clairances peu claires, de communications jugées excessives ou encore d'occupation perturbante de la fréquence.

Les difficultés rapportées par les pilotes concernent d'une part, la compréhension de la situation et le partage de cette compréhension au sein de l'équipage (en particulier lors de la prise de décision de RdG). Elles concernent d'autre part, les actions à effectuer, leurs enchaînements et la gestion des automatismes. Le graphique suivant détaille l'ensemble de ces difficultés.

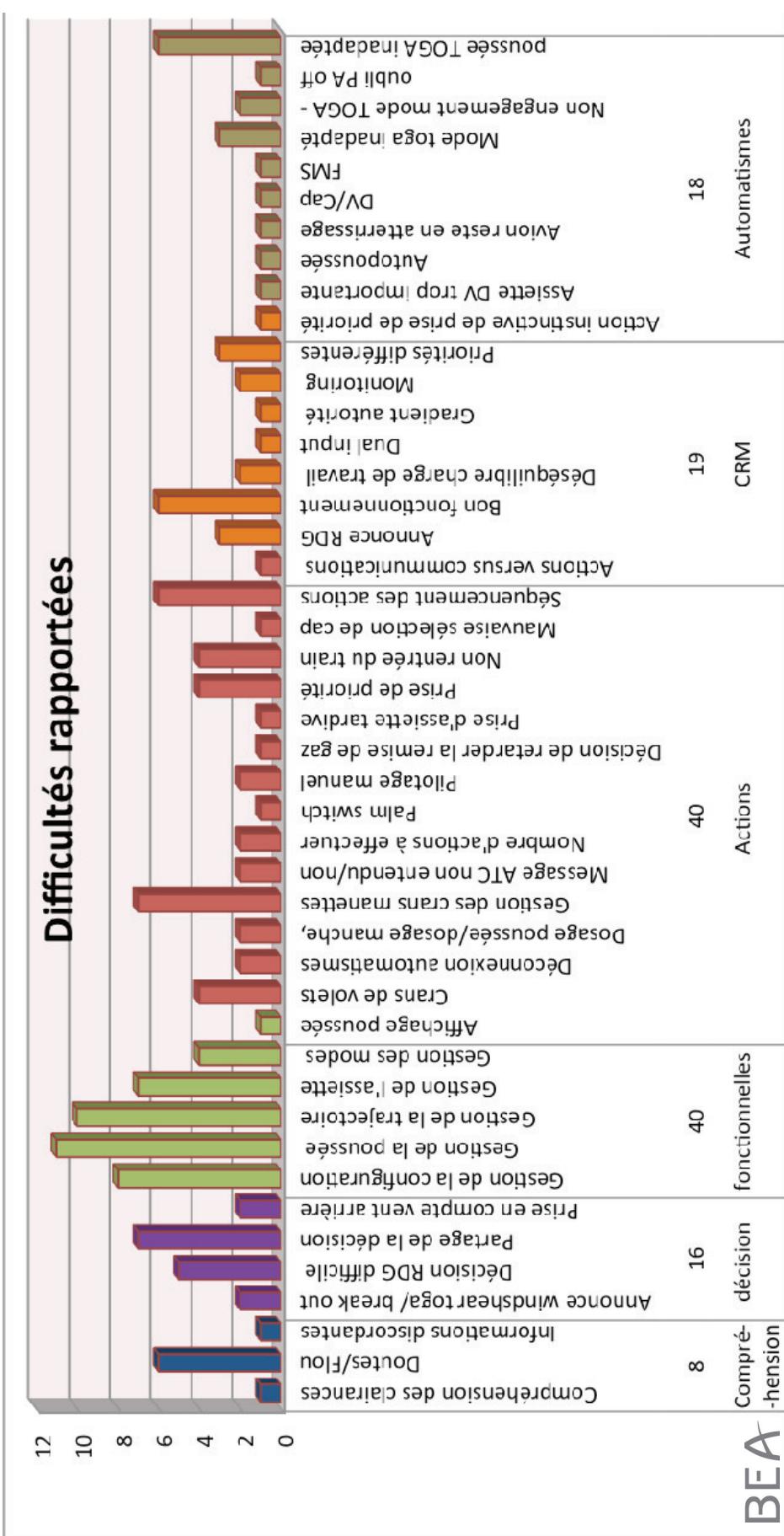


Figure 6

Les difficultés majeures rapportées par les pilotes interrogés sont les suivantes :

- l'augmentation de charge de travail due aux interactions avec l'ATC en raison de :
 - clairances imposées par des situations particulières et imprévisibles de trafic aérien ;
 - conditions météorologiques provoquant des modifications non planifiées de trajectoire (orage, vent arrière,...) ;
 - communications intervenant dans les phases délicates et chargées de la RdG, saturant le plan d'action conscient des pilotes ;
- la diminution des capacités de maîtrise de situation, conséquence de la charge de travail momentanément excessive du fait de la rapidité de l'évolution de la situation ;
- le problème de la gestion d'une poussée jugée trop importante car elle provoque une accélération et/ou une vitesse verticale excessives ;
- les changements rapides de configuration (volets et train), aggravés par la nécessité de nouveaux affichages manuels (FCU/FCP) et de leur vérification (FMA, PFD), voire de l'enclenchement d'automatismes (FD, AP, A/THR) ;
- la gestion des automatismes sous contrainte de temps lorsque la RdG ne suit pas strictement la procédure prévue. Dans ces cas, les automatismes peuvent cesser d'être une aide ;
- le manque de coordination ou d'entraide au sein de l'équipage ;
- l'obligation, sur certains aéronefs, de sélectionner la pleine poussée :
 - qui peut s'avérer trop importante lorsque l'altitude de stabilisation est trop proche de l'altitude de déclenchement ;
 - qui est illogique lorsque la RdG se produit soit au niveau de stabilisation soit au-dessus. Dans ces cas, la manipulation des manettes de poussée oblige d'aller vers le cran TOGA, puis de revenir en dessous, ce qui complique cognitivement les manœuvres et prend du temps ;
 - qui, dans le cas de deux événements, a induit une mauvaise gestion de poussée, probablement combinée avec une assiette longitudinale inadaptée, amenant à une trop faible vitesse (inférieure à VLS) ;
 - qui a provoqué des cas de perturbations liés aux illusions somatograviques.

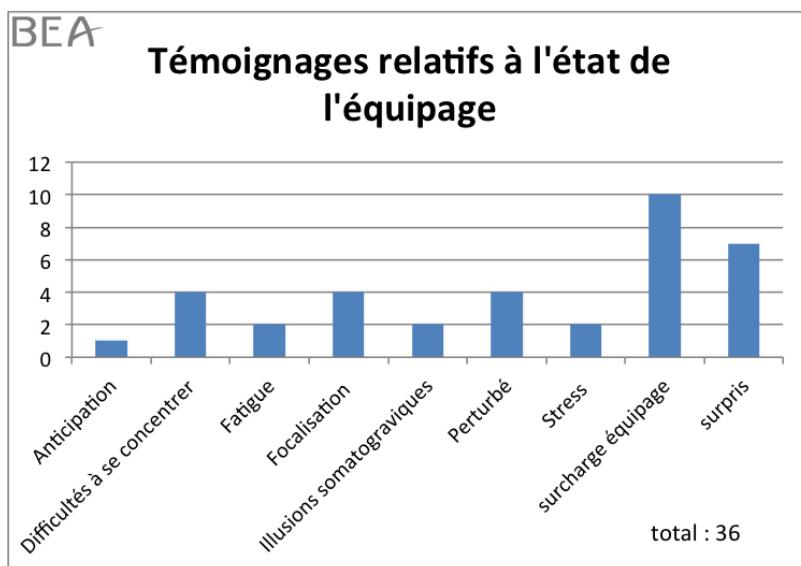


Figure 7

Analyse FH sur le comportement issu des témoignages du sondage

Les témoignages soulignent que la RdG implique une discontinuité des tâches à exécuter ainsi que la perturbation de leur rythme de déroulement.

La diversité et la rapidité d'exécution de tâches engendrent du stress, notamment lorsque se surimpose l'effet de surprise. Le stress exigeant une simplification des actions, la performance humaine est diminuée. La combinaison de l'irruption soudaine de nouvelles tâches, de manœuvres vitales rapides et diversifiées, de l'évolution rapide de nombreux paramètres à gérer (à maîtriser) en temps limité, rend donc délicate une RdG non maîtrisée dès son départ.

La difficulté première réside dans le fait de « *se rétablir* », en fait de maîtriser le stress et de gérer la « *surimpression de tâches* ». Le changement rapide des modèles mentaux n'est pas aisé. Un certain nombre de pilotes font état de confusions et d'oublis. Parfois, certains éléments pourraient être interprétés comme la conséquence d'une focalisation excessive.

Des pilotes indiquent que la saturation du PNF/PM dans l'exécution de ses tâches l'empêche de contrôler le PF, ce qui est perçu comme dangereux.

Par ailleurs, le manque d'expérience en RdG avec tous moteurs en fonctionnement, en formation et en opération est largement critiqué par les pilotes interrogés.

Les pilotes tentent d'atténuer ces difficultés en recherchant la simplification des tâches :

- élimination des actions estimées secondaires et consommatrices de temps (suivi continu du FMA, attention portée aux instructions ATC) ;
- retour au pilotage basique manuel.

Sont considérées comme bénéfiques :

- l'expérience acquise en vol et au simulateur ;
- l'anticipation de la manœuvre, par exemple par un briefing préalable pendant l'approche ;
- les actions dans le calme ;
- et surtout la bonne coordination au sein de l'équipage.

Conséquences opérationnelles rapportées

Les pilotes indiquent prendre rapidement en compte les conséquences opérationnelles de la RdG parfois au détriment de la surveillance de paramètres fondamentaux de la RdG.

BEA Conséquences opérationnelles rapportées

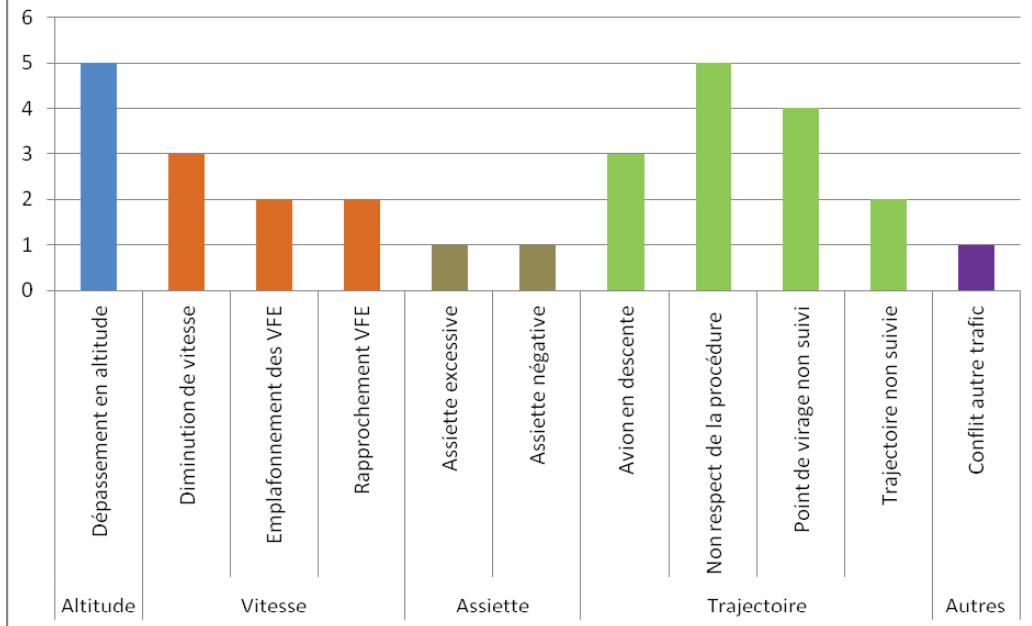


Figure 8

En complément, les témoignages suivants illustrent les éléments développés dans les chapitres précédents. Ils sont significatifs d'une possible perte de conscience de la trajectoire de l'avion.

Témoignage : *en tant que CDB PNF/PM lors d'une RdG vers 500 ft pour des raisons de piste non dégagée, je quitte des yeux la trajectoire quelques instants le temps de changer de fréquence VHF et quand je lève les yeux, l'assiette était négative et l'avion en descente. Le copilote était sans réaction et était dépassé par les événements, reprise des commandes immédiate et debriefing par la suite avec le collègue qui m'a expliqué avoir été complètement « frozen » par la situation.*

Témoignage : *vol sur Airbus A320. Premier vol d'AEL en fonction pour un jeune OPL, avec CDB TRI en place gauche, un autre OPL en AEL en jump seat central et moi-même, OPL avec plus d'ancienneté en fonction « safety » sur le JPS gauche, derrière le siège CDB. OPL PF, retour à CDG après un long aller-retour en instruction en lever-tôt. Régulation ATC derrière un BAE-146 bien plus lent. Mauvaise anticipation de la réduction de vitesse, écart trop réduit, l'ATC commande une RdG à environ 2 000 ft AGL. Bien qu'envisagée au briefing, la RdG est rebriefée rapidement par les PNT aux commandes afin de faire tomber le stress naturel de l'OPL stagiaire. Au moment de son exécution, l'ATC change totalement la clairance : altitude plus basse que la standard, virage à droite au lieu de montée dans l'axe et demande de changement rapide de fréquence. Le CDB affiche les modifications au FCU car pilotage AP OFF à ce moment et répond à l'ATC, tout en tentant d'effectuer toutes les actions nécessaires à la RdG. L'OPL fait une prise d'assiette correcte et met l'avion en virage à droite. Au cours du virage alors que le CDB communique avec l'ATC, échappée d'assiette qui augmente jusqu'à environ 23° (assiette normale approximative : 17,5°, assiette maximum autorisée : 20°) non détectée par les deux pilotes aux commandes. C'est moi depuis le JPS qui effectuera l'annonce technique prévue « ASSIETTE » remettant dans la boucle mes deux collègues. L'OPL réduit l'assiette sous la surveillance du CDB. Poursuite du vol et deuxième approche normales. Le changement de clairance avec*

retard de la part de l'ATC et la demande de contacter rapidement une nouvelle fréquence (dont le contrôleur donnera à son tour une nouvelle clairance différente de la première) ont fortement perturbé un cockpit déjà particulier dû à l'instruction. Cela a contribué à surcharger le CDB PNF/PM qui était alors moins disponible pour la surveillance de la trajectoire. Je ne me souviens pas si un ASR avait été rédigé ou pas.

Témoignage : phase d'AEL il y a 10 ans approche précipitée sur ZRH. L'instructeur laisse faire pour que je me rende compte des délais de préparation machine. A vue à 1 000 ft sol, il me demande de repartir. J'attendais une annonce claire « RdG » qui n'est pas venue, l'instructeur pensant avoir été clair. Du coup, je n'étais pas vraiment dans le projet d'action RdG et n'ai pas réussi à me rendre compte de ce que nous faisions (manque de disponibilité). Je n'ai donc pas réussi à me raccrocher à un pattern connu. J'ai donc piloté l'avion mais en oubliant les palm switch, la configuration, etc....

Témoignage : RdG « haute énergie », le PF n'affiche pas TOGA par erreur, la vitesse décroît sous VLS, situation rattrapée par le PNF/PM avec l'annonce « vitesse » et remises de A/THR en TOGA par le PF.

Témoignage : c'était mon lâcher CDB, en approche ILS manuelle sans DV, j'étais PF, avec un TRI en OPL PNF/PM peu familiarisé avec ce poste. Au cours de la RdG à CDG, trajectoire et altitudes totalement différentes du standard, l'OPL a beaucoup de radio à faire, et saturé, se trompe 2 fois dans la rentrée des volets. Nous nous sommes retrouvés aux limites de vitesse d'évolution en virage, avec donc sortie de virage temporaire pour retrouver une marge le temps que l'avion accélère et il y a eu écart par rapport au guidage radar.

Témoignage : un autre cas, suite à une prise d'inclinaison de l'appareil due à un gradient de vent (nous étions proches d'un grain) sous l'altitude de décision, qui nous amènera à être déstabilisés, je décide et effectue la RdG en tant qu'OPL PF. La prise d'assiette aura été bonne, mais je suis passé fugitivement par le cran IDLE avant d'appliquer la poussée TOGA. Cet événement a fait l'objet d'un ASR et d'un dépouillement des paramètres, qui ne relèvera aucune perte de poussée. J'explique cette action par une anticipation mentale de la phase suivante de l'atterrissement qui est la réduction de la poussée une fois au seuil. Il me faudra 5 secondes et les annonces de mon CDB pour me remettre dans la boucle de la RdG normale. Les clairances du contrôle aérien en altitude et en cap par rapport à la remise des gaz publiée surcharge parfois le travail de l'équipage.

3.2.3 Témoignages des instructeurs

Soixante-douze instructeurs ont témoigné sur les difficultés détectées lors de séances avec des pilotes, le plus souvent en simulateur. Leurs opinions permettent de juger les comportements d'après une vision extérieure contrairement à celles, personnelles et internes, des pilotes. Cependant, il existe une nette convergence de vue entre instructeurs et pilotes.

Problèmes observés et points positifs

Les difficultés majeures observées sont :

- l'incompatibilité entre la poussée TOGA et une faible altitude de stabilisation ;
- les perturbations entraînées par le non-engagement de TOGA ;
- la gestion simultanée des configurations et de la poussée pour respecter les VFE ;
- des confusions dans les choix et les séquences de commande des configurations

- (train et volets) ;
- la déconnexion non identifiée des automatismes en RdG ;
 - l'oubli d'enclencher les automatismes ;
 - la difficulté de revenir au pilotage de base lors d'un défaut d'automatisme et de suivre strictement les procédures établies ;
 - la gestion de l'assiette longitudinale parfois négligée au profit d'autres actions (surveillance de la vitesse par exemple) ;
 - les problèmes additionnels causés par l'obligation de suivre des trajectoires complexes ;
 - l'effet de surprise et la charge de travail pouvant entraîner une diminution de la performance ;
 - la perte de la faculté d'anticipation ;
 - l'augmentation de la charge de travail par des interventions ATC non prévues ;
 - la faible pratique en instruction des RdG avec tous moteurs en fonctionnement ;
 - l'absence de contrôle du PF par le PNF/PM, lui-même saturé par ses propres tâches.

En revanche sont considérés comme facteurs d'amélioration :

- la préparation aux RdG par l'entraînement réel ou au simulateur et par un briefing préalable ;
- le recours au pilotage basique manuel lorsque la gestion des automatismes devient complexe ou demande trop de réflexion ;
- la connexion automatique en mode NAV ;
- une poussée qui serait réduite.

3.3 Synthèse et interprétation des résultats

L'analyse des témoignages de pilotes et d'instructeurs a permis de mieux comprendre le comportement opérationnel des équipages en RdG.

La plupart des témoignages concernent des aéronefs bimoteurs. Les pilotes qui indiquent avoir rencontré des difficultés lors de la RdG sont souvent soumis à la combinaison de deux facteurs :

- un temps limité ;
- la gestion, souvent sous stress, de nombreux éléments dans une situation très rapidement évolutive.

Les équipages ont proposé les pistes suivantes :

Côté équipage : améliorer la performance humaine :

- appropriation par la pratique en instruction de RdG avec tous moteurs en fonctionnement ;
- anticipation des actions par la pratique du briefing préalable ;
- coordination interne à enseigner ;
- précipitation à éviter ;
- recours au pilotage basique lorsque la gestion est complexe.

Côté externe : diminuer la contrainte temporelle :

- réduction de la poussée (diminution de l'accélération, de la vitesse verticale) ;
- suppression ou report des tâches non immédiatement nécessaires (surveillance FMA, interventions ATC) ;
- éviter la saturation du PNF/PM en diminuant le nombre de tâches à accomplir.

Les pilotes interrogés ont généralement une appréciation négative sur la façon dont les automatismes sont mis à la disposition de l'équipage en RdG. Certains déclarent ne pas leur faire confiance pour la conduite verticale de la trajectoire alors qu'ils apprécient la conduite latérale. Les automatismes sont jugés avec réticence du fait d'une perception par les sondés de :

- leur inadaptation aux RdG non standards ;
- la complexité de leur conduite, de leur interprétation ou de leur compréhension lorsque leur évolution est rapide;
- d'un risque de non-enclenchement de modes difficiles à détecter et sur lequel l'équipage compte ;
- le danger des déconnexions intempestives non perçues en situation de stress, avec ou sans alarme ;
- la difficulté de la reprise en pilotage manuel.

Les témoignages ont clairement mis en évidence des limitations cognitives et leur conséquence dans un contexte où le facteur temps est limitatif et la charge de travail élevée.

De nombreux témoignages font ainsi directement écho aux mêmes facteurs et révèlent les mêmes précurseurs que ceux mis en évidence lors des enquêtes sur les événements de type PARG. Or, les enquêtes sur les accidents ont du mal à démontrer ces limitations par manque de données factuelles.

4 - SÉANCES DE SIMULATEURS

Le BEA a effectué une série de séances de simulateurs afin de :

- valider des hypothèses issues des données factuelles recueillies par l'étude ;
- augmenter l'échantillon de données et avoir accès à des données complémentaires non disponibles dans les rapports d'incidents ou par le biais d'entretien⁽⁸⁾ ;
- comprendre le processus de déclenchement des dysfonctionnements grâce notamment à l'étude du circuit visuel des deux membres d'équipage.

Toutes les séances ont été filmées.

Construction des scenarii / hypothèses

Les scenarii ont été élaborés sur la base des incidents et témoignages recueillis. Ils comportaient trois RdG pour lesquelles ont été étudiées :

- l'application des SOP ;
- l'effet de surprise ;
- l'augmentation de la charge de travail et la répartition des tâches ;
- la surveillance par le PNF/PM ;
- les impacts de l'ATC ;
- la gestion des automatismes ;
- les résultats d'une RdG basse hauteur / haute énergie ;
- le circuit visuel.

⁽⁸⁾Une appréhension de l'activité de travail qui dépasse les représentations partielles qu'en ont les différents acteurs dans l'entreprise, suppose le recueil des informations à l'occasion de l'exercice effectif de cette activité (Guérin et al, 1997).

4.1 - Mise en place des séances

4.1.1 Environnement de simulation

Les simulations se sont déroulées sur des simulateurs FFS d'entraînement B 777 et A 330. Afin de reproduire le contexte opérationnel, il a été nécessaire de :

- construire des scenarii réalistes ;
- fournir aux équipages des documents représentatifs de ceux réellement utilisés ;
- respecter la composition habituelle d'un équipage (OPL, CDB) ;
- demander aux équipages d'effectuer les annonces commerciales.

La limitation principale des simulateurs est la faible prise en compte des illusions somatograviques.

4.1.2 Données à recueillir et méthodes

Les grandes catégories de données à recueillir étaient :

- la direction des regards ;
- les communications entre les membres d'équipages et/ou l'ATC ;
- les faits observables en termes d'actions ou de prises d'information ;
- les faits observables relatifs au système technique et au contexte ;
- les échanges de paroles en cours de séance ;
- les témoignages a posteriori des pilotes sur leurs actions et leur perception des événements.

Le recueil des données a été réalisé en cours de séance (observation directe, oculométrie, enregistrement vidéo) et à la suite des scénarios (questionnaires, débriefings).

L'installation d'une caméra HD dans le cockpit avec déport de l'image et du son a permis à des spécialistes non présents dans le simulateur d'observer les séances en direct. L'enchaînement rapide des événements spécifiques à une RdG a été étudié grâce à l'analyse de l'enregistrement vidéo.

L'observation directe dans le cockpit a été effectuée de façon complémentaire à l'enregistrement vidéo afin de relever les éléments non enregistrés et les éléments spécifiques à aborder en débriefing.



Figure 9 :
installation de la caméra dans le simu A 330



Figure 10 :
installation de la caméra dans le simu A 330

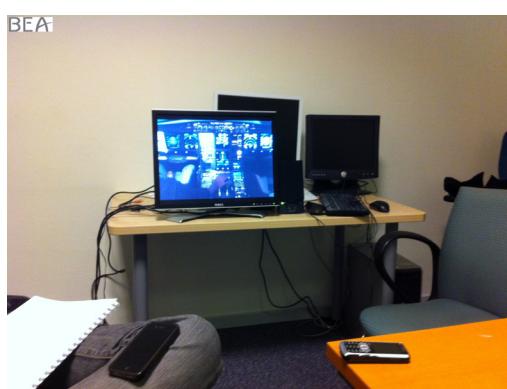


Figure 11 : déport vidéo

L'étude du circuit visuel a nécessité le recours à un système d'oculométrie installé sur chacun des membres d'équipage. Le système est constitué d'une caméra d'oeil qui détecte la position de la pupille de l'utilisateur (50 Hz) ainsi que d'une caméra de champ qui filme devant. En corrélant la position mesurée de la pupille avec le point regardé sur l'image de champ, le système indique la direction du regard. Des outils permettent de caractériser les fixations oculaires des sujets sur les différentes zones de leur champ visuel, appelées zones d'intérêt. Ainsi, il est possible de déterminer le temps passé sur une zone particulière (instrument, commande, etc.). D'autres données peuvent être produites par ces outils.

Les données recherchées dans le cadre de cette étude sont :

- les cartes de chaleur, donnant un aperçu qualitatif des directions du regard durant une période donnée (décollage, approche, etc.) ;
- le nombre de passage du regard sur une zone d'intérêt ;
- les durées moyennes et maximales des fixations sur une zone d'intérêt.



Figure 12 : système installé sur un équipage



Figure 13 : image eyetracking



Figure 14 : vue d'ensemble du simulateur



Figure 15 : carte de chaleur

Lors des séances, cinq personnes étaient présentes dans le simulateur : les deux pilotes, l'instructeur, un spécialiste du système d'oculométrie et un spécialiste FH. En outre, les enquêteurs du BEA participaient aux séances et interagissaient en dehors du simulateur grâce à l'image déportée de la caméra HD.

L'utilisation, en fin de séance, d'un mini-questionnaire écrit a permis d'avoir un retour immédiat des pilotes et d'obtenir des réponses qui sont peu influencées l'un par rapport à l'autre pilote et les personnes participantes. Dans un second temps, un débriefing a été réalisé sur la base d'un questionnement systématique et d'une auto-confrontation au moyen des différents enregistrements vidéos.

4.1.3 Scénarii

Les scénarii ont été élaborés avec les organismes ou personnes suivants : OCV, Air France, Dédale, BEA, AIRBUS, ISAE, Jean Pinet, CORSAIR, XL-Airways.

Scénario présenté aux équipages par le BEA avant le vol

Afin de ne pas influencer les résultats, l'objectif des séances, indiqué aux équipages, était l'étude du système du circuit visuel lors d'un vol standard sans anomalies techniques. Le scénario présenté ne permettait pas aux équipages de deviner qu'une remise de gaz était prévue. Les équipages étaient volontaires et ont été directement contactés par le BEA.

Le scénario général était le suivant : vol d'une quarantaine de minutes au départ de Bordeaux en direction de Lyon. L'aéronef a une autonomie de plusieurs heures. Aucun phénomène météorologique particulier n'est prévu. Le niveau de croisière est le FL 260. Le vol doit se terminer par une percée VOR DME 18 Droite à Lyon au cours de laquelle le CdB est PF.

Scénario réalisé au cours des séances de simulations

Le scénario prévu est modifié lorsque l'équipage débute l'approche en piste 18 Droite à Lyon.

L'ATC annonce un changement de piste et demande d'effectuer sous guidage radar une percée ILS en 36 gauche. Cette modification du scénario a été ajoutée pour occuper l'équipage pendant l'approche. Une remise de gaz non prévue est ordonnée par l'ATC en dessous de 200 ft car la piste est occupée. Contrairement à la remise de gaz publiée qui prévoit de monter dans l'axe sur une route magnétique de 350° vers l'altitude de 5 000 ft, l'ATC demande à l'équipage de tourner à gauche au cap 340° et de monter initialement vers une altitude de 2 500 ft. Il s'agit donc d'une RdG réalisée à basse hauteur et perturbée par une restriction d'altitude de l'ATC.

Les équipages se déroutent alors vers Marseille, conformément aux options prévues dans le dossier de vol. Ils effectuent une approche standard ILS 31 Droite Z au cours de laquelle le vent simulé va progressivement basculer plein arrière pour 15 à 20 kt. L'ATC n'annonce ce changement effectif de vent qu'en courte finale. Lors de la remise de gaz, théoriquement décidée par l'équipage, l'ATC limite l'altitude à 2 000 ft au lieu des 3 500 publiés.

A la suite de cette deuxième RdG, un changement de rôle entre PF et PNF/PM est demandé et l'équipage effectue une percée LOC DME 13 Gauche sous guidage radar. La visibilité réelle est nulle, obligeant les équipages à effectuer une troisième et dernière RdG. Contrairement aux deux premières, celle-ci est standard. Cette remise de gaz est habituellement effectuée en entraînement périodique.

La durée de vol réelle du scénario est de 2 h 15 min environ.

Les éléments suivants figurent en annexe :

- exemple d'un dossier de vol B 777. Celui de l'A 330 est similaire ;
- cartes d'approches à Lyon et Marseille ;
- script détaillé à l'intention de l'instructeur manipulant le simulateur.

4.1.4 Réalisation de la séance pour les équipages

Treize séances de simulateurs ont été effectuées : sept séances sur B 777 sur le site d'Air France et six sur A 330 sur le site d'Airbus Training. Les deux premières séances sur B 777 ont permis de valider les moyens utilisés et le scénario : seules cinq séances ont donc été exploitées.

Au total, onze séances comportent chacune 3 RdG (nommées par la suite RdG1, RdG2 et RdG3). Au total, 33 remises de gaz ont été étudiées.

Le plan de simulation retenu était le suivant :

	Type avion	RDG1 (remise de gaz demandée par ATC)	RDG2 (remise de gaz à l'initiative de l'équipage)	RDG3 (remise de gaz à l'initiative de l'équipage)
Equipages 1-6 (1 compagnie)	Boeing		CDB PF/OPL PM	CDB PM/OPL PF
Equipages 7-11 (3 compagnies)	Airbus		CDB PF/OPL PM	CDB PM/OPL PF

Une séance de simulation type était composée de quatre parties principales :

- accueil des participants et présentation succincte de l'objectif et briefing du vol pendant 15 à 30 minutes ;
- installation dans le cockpit, préparation du vol et en parallèle installation des différents moyens de recueil de données (en particulier eye tracker) pendant 40 min ;
- conduite du vol, durée : 2 h 15 min ;
- débriefing pendant 1 h 30 min.

4.2 Résultats

Les 11 RdG1 ont fait l'objet d'une étude approfondie et les 22 autres d'une synthèse.

L'ensemble des enregistrements vidéo est disponible à l'adresse suivante : <http://www.bea.aero/etudes/parg/parg.php>. L'anonymat des participants a été respecté.

4.2.1 Aspects temporels

Les 11 premières RdG ont été chronométrées à partir du début de la clairance ATC de remise de gaz jusqu'à la stabilisation au cap 340° et à l'altitude de 2 500 ft. A défaut, la mesure a été arrêtée au moment de la clairance de montée vers 5 000 ft.

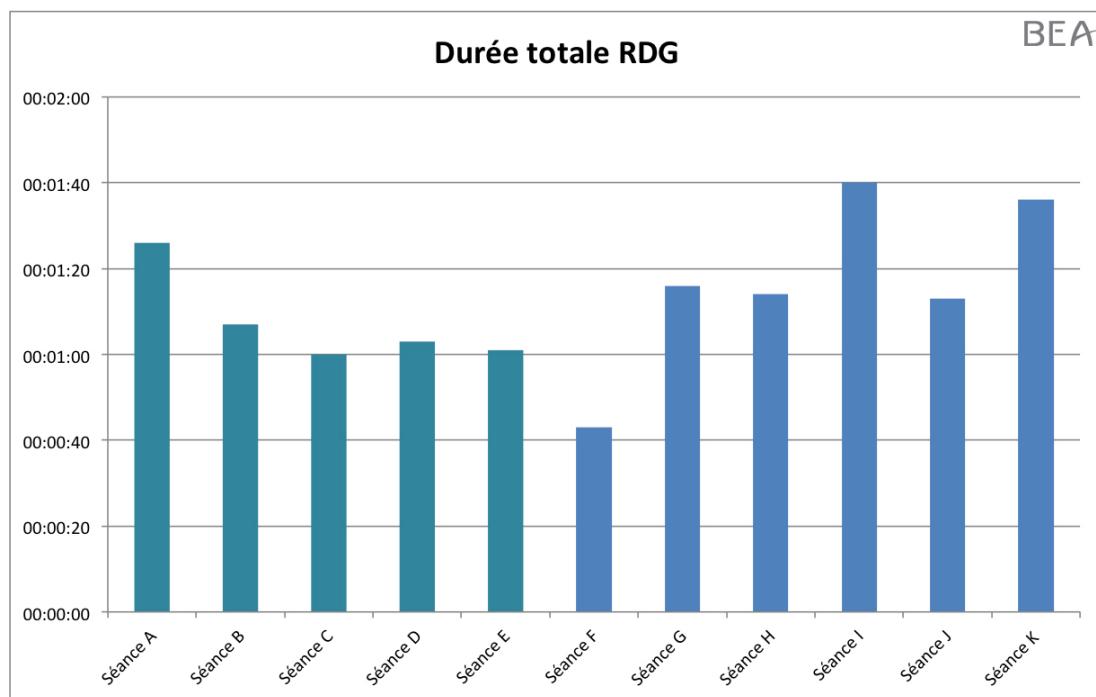


Figure 16

Sur les 11 RdG1, les durées s'échelonnent de 1 min à 1 min 40 s ; avec une moyenne de 1 min 07 s sur B 777 et 1 min 30 s sur A 330.

4.2.2 Suivi des procédures

Séances sur Boeing B 777

Le tableau ci-dessous présente les actions effectuées par les membres d'équipage lors des séances sur B 777. Il récapitule l'ordre des actions prévu dans les procédures de la compagnie (SOP) et l'ordre réellement effectué lors des séances. Il précise aussi le rôle du membre d'équipage qui effectue une action.

Les lignes grisées correspondent à des actions prévues explicitement par le constructeur et non précisées dans la procédure compagnie.

	Ordre prévu	Séance A	Séance B	Séance C	Séance D	Séance E
PF : annonce RdG	1	2	-	1	1	2
PF : presser TOGA switch	2	1	1	2	2	1
PF : annonce Volets 20	3	4	3	3	3	3
PM : sélection volets 20	4	5	4	4	4	4
PF/PM : vérifier assiette et augmentation poussée	5	3 (PF)	2 (PF)	5 + (<i>lecture FMA</i>)	5 (+ lecture FMA)	5 (<i>lecture FMA PM</i>)
PM : vérifier poussée suffisante, ajuster si besoin		9		6		6
PM : vario positif	6	6	8	7 (PF au lieu de PM)	6 (PF)	9
PF : annonce train rentré	7	7	9	8	7	7
PM : sélection train rentré	8	⁸ + FMA (PF)	10	9	8	10
PF : limiter roulis 15° si V<??						
PF : vérifier / sélectionner mode latéral (>400 ft)	9	11	6	10 demande PM + PF ATC cap altitude	9	11
PM : vérifier alt RdG affiché au MCP	10	10 (PF)	7 (PF)	11	10	
PM/PF : vérifier trajectoire		12 (cap 240 au lieu de 340)	5 (erreur dans la sélection d'altitude)	12	11	8 (PM)
* altitude acceleration						
PF : afficher vitesse d'évolution	11	14	11 (PM)	effectuée auparavant	12	effectuée auparavant
PF/PM : rentrée des volets en séquence	12	15	12	14	¹³ volets UP -> volets 1	13
* volets rentrés						
PF : sélectionner FLCH ou VNAV	13	-	13			14
PF/PM : vérifier poussée CLB	14	-	-			
PF/PM : vérifier capture altitude RdG		13	14	15		15
PM/PF : C/L Après décollage	15	16	Au niveau 70	16 (2 500 ft)	14 (5 000 ft)	16

Séances sur Airbus A330 :

Le tableau ci-après présente les actions effectuées par les membres d'équipage lors des séances sur A330. Trois compagnies différentes ont participé aux séances.

Les compagnies 1 et 3 utilisent leur propre SOP. Celles-ci diffèrent légèrement de la procédure constructeur. La compagnie 2 utilise la procédure du constructeur (cf. § 5.2.1 - Procédures des constructeurs). Les différences de procédures des compagnies 1 et 3 se font donc par comparaison avec celle de la compagnie 2.

Le tableau suivant récapitule l'ordre des actions à effectuer par chacun des membres d'équipages selon les SOP de leur compagnie et l'ordre réellement effectué lors des séances. Chaque tableau est associé à une compagnie.

L'indication O (oui) ou N (non) signifie que l'action prévue dans la SOP a été effectuée ou pas.

Séances actions	F	G	H	I	J	K
PF : annonce RdG	1	1	1	1 + annonce verbale	1 + annonce verbale	1 + annonce
PF : manettes TOGA	2	2	2	2	2 en même temps que 1	2
PF : rotation assiette 15 ° puis suivi du FD (SRS)	3	3	3			
PF : annonce volets	4	4 + FMA sans A/THR bleu	4	4	3	3
PNF : volets rentrés 1 cran	5	5	5	3		
PNF : vario positif	6	6	6	4		
PF : annonce train rentré	7	7	7	O	N	4
PNF : sélection train rentré	8	8	8	O	N	O
PF : mode NAV		9		O	N	O
PNF : ATC informé	9		9	O	N	N
LVR CLB clignotant PF : manettes CLB	10	10	10	6	4	6
PNF : volets rentrés en séquence	11	11	11	7	5	5
PNF : phares éteints	12	12		8	6 (annoncé mais non vérifié)	7
PF/PNF: ECAM MEMO vérifié	15	N	N	9		
C/L après décollage	16	14	12	Rentrée des volets en séquence	10	10

Synthèse

Aucun équipage n'a pu strictement suivre la procédure de remise de gaz prévue. Des écarts ont été notés en ce qui concerne :

- les rôles PF/PNF-PM pour la séquence de rentrée des traînées ;
- l'annonce de la remise de gaz par le PF ;
- la lecture de modes FMA (incomplète ou inexistante) ;
- le suivi de trajectoire ;
- les vérifications croisées ;

- la réduction de poussée (déconnexion volontaire de l'auto-poussée) ;
- les annonces techniques ;
- le travail en l'équipage (perturbation importante).

Le tableau ci-dessous décrit les écarts notables. Les séances faites sur Boeing apparaissent en bleu.

	Announce et gestion des clairances	Gestion des modes	Gestion de la poussée	Gestion de la configuration	Gestion du pilotage manuel	Gestion de la trajectoire
A	Erreur de 100 ° de cap détectée par l'ATC (cap 240 au lieu de 340)					Echappée de cap jusqu'au cap 300
B	Pas d'annonce de RdG	Annonce partielle des modes FMA	Vérification non verbalisée de la poussée par le PNF	Conservation des volets 20 jusqu'au changement de mode vers le mode SPD		
C				Volets 5 jusqu'à la clairance de monter vers 5 000' (la vitesse est limitée à 173 kt)		
D	Collationnement 5 000 ft rectifié par ATC qui précise 2 500 ft	Cap 340 affiché Mode HDG SEL non sélectionné par PNF/PM Détection et demande de correction par PF		Rentrée des volets en séquence rapide alors que la vitesse se rapproche des VFE	Assiette de palier légèrement supérieure à celle du FD	Très léger dépassement d'altitude de 40 ft, puis de 140 ft ultérieurement
E				La vitesse est proche de la VFE avant la rentrée des volets		
F	Collationnement mais non sélection de l'altitude de 2 500 ft Demande confirmation 5 000 ft en passant 3 000 ft			Demande gestuelle de rentrée du train non verbalisée du PF (désignation du doigt)	Utilisation du PA après la rentrée des volets vers le cran 5° et avant la capture des 2 500 ft	Dépassement d'altitude de 120 ft
G					Non affichage 2 500 ft au FCU Affichage 3 000 ft sélectionné au FCU	Dépassement d'altitude de 500 ft Vzmax supérieure à 4 000 ft/min
H				Réduction de poussée à l'interception des 2 500 ft sans verbalisation	Volets 3 puis directement volets UP	Cap diminue jusqu'au cap 315
				2 500 ft sélectionné au FCU au passage de 3 000 ft Passage en mode OP DES		Dépassement d'altitude de 600 ft Activation alarme C-Chord

	Annonce et gestion des clairances	Gestion des modes	Gestion de la poussée	Gestion de la configuration	Gestion du pilotage manuel	Gestion de la trajectoire
I	Réponse « Stand-by » à l'ATC en réponse à la clairance	PA engagé en passant 1 200 ft 2 500 ft affiché non sélectionné au FCU au passage des 3 300 ft en montée Passage en mode VS + 3 800 V/S + 3 800 pendant 10 s Passage en mode OP DES pour rattraper l'altitude sélectionnée de 2 500 ft Sélection d'un cap 351° initial pour l'engagement du mode HDG puis sélection d'un cap 340 excepté ALT*	LVR CLIMB clignote pendant 10 s pendant la sélection par le PF du cap et de l'altitude Passage en mode VS + 3 800 V/S + 3 800 pendant 10 s Passage en mode OP DES pour rattraper l'altitude sélectionnée de 2 500 ft Sélection d'un cap 351° initial pour l'engagement du mode HDG puis sélection d'un cap 340 excepté ALT*	Passage sous PA 16 s après la RdG Gestion par le PF du FCU	Passage sous PA 16 s après la RdG Gestion par le PF du FCU	Dépassement d'altitude de 1 400 ft à décomposer en 3 phases - 400 ft avant demande ATC confirmation altitude - 600 ft avec VS + 3 800 ft avec VS + 3 800 ft « d'inter avion » Vzmax supérieure à 3 800 ft/min Activation alarme C-Chord (40 s)
J	Announce à l'ATC de la RdG 52 s après son début	Affichage du cap 340. Engagement en mode NAV (120 s) Peu d'annonce des modes FMA	Positionnement manette en deçà du cran CLIMB pour limiter la poussée (message A/THR /limited) Désengagement manuel de l'A/THR	Puis suivi du FD en mode NAV	Initialement, non suivi du FD pour prendre un cap à gauche Puis suivi du FD qui lui indique des ordres pour suivre la procédure de RdG du FMS (mode NAV)	Virage à gauche jusqu'au cap 325 sans suivi du FD. Puis suivi du FD qui lui indique des ordres pour suivre la procédure de RdG du FMS (mode NAV)
K		Quelques modes FMA lus après lecture modes initiaux de RdG	Passage en deçà du cran CLB (mode OP CLB)	Augmentation du cap vers le cap 030 Dépassement d'altitude de 200 ft Pas de cross-check du PNF	Retirée du train par le PNF/PFM avant annonce PF	

4.2.3 Gestion des modes

De manière générale, les changements de mode FMA sont annoncés et vérifiés quasi-systématiquement par les équipages dans les phases précédant la RdG. Lors de la RdG, le premier mode FMA est souvent annoncé. Les changements suivants sont rarement annoncés.

En moyenne, cinq à six changements de mode sont observés lors d'une RdG sur A 330 et deux à trois sur Boeing. Le tableau ci-dessous, non exhaustif, indique les changements significatifs.

Session	Changement de mode réel	Changement de mode demandé	Changement de mode annoncé « Annoncé » signifie tous les modes sont annoncés	Changement de mode vérifié « vérifié » = fixation oculaire sur le FMA « annoncé » = annonce verbale	Remarques
A	THR LNAV TO/GA		Annoncé	« vérifié » par le PNF	
	SPEED HDG SEL ALT		Annoncé	Non vérifié mais annoncé par le PF suite au changement de cap et alti sur le FCP par le PNF/PM → pas aberrant qu'il ne le vérifie pas	Erreur de cap : sélection d'un cap 240 au lieu de 340
B	THR LNAV TO/GA		*	*	
	THR HDG SEL TO/GA		HDG SEL	Vérification du seul mode HDG SEL 18 s plus tard	Annonce mode HDG SEL quand il devient actif (« débox »)
	SPEED HDG SEL ALT		*	*	Mode SPD pris en compte (« Speed bug ») mais non annoncé
C	THR LNAV TO/GA		*	Vérifié et annoncé	
	THR HDG SEL TO/GA	HDG SEL	HDG SEL	Vérifié"	Rappelle du PF pour la sélection du mode HDG SEL : oublie de pousser sur le bouton lors de la sélection du cap - pas de changement de mode
	SPD HDG SEL ALT		SPD ALT	Vérifié et annoncé	
D	THR LNAV TO/GA		Annoncé	*	
	THR HDG SEL TO/GA	HDG SEL	*	Probablement vérifié*	
	SPD HDG SEL ALT	*	*	Probablement vérifié*	
E	THR LNAV TO/GA		*	Annoncé	
	THR HDG SEL TO/GA	*	HDG SEL	*	
	SPD HDG SEL ALT	*	SPD ALT	Vérifié	
F	MAN SRS GA TRK TOGA	Non analysé. La séquence ATC n'est pas conforme au scénario.			
G	MAN SRS GA TRK TOGA		annoncé	Vérifié	
	MAN SRS HDG TOGA	*	*	*	
	THR CLB OP CLB HDG	*	*	*	Mouvement manettes de poussée vers cran CLB à l'approche des 2 500 ft LVR CLB flash moins d'1 s
	SPEED ALT HDG		SPD	SPD ALT	

Session	Changement de mode réel	Changement de mode demandé	Changement de mode annoncé « Annoncé » signifie tous les modes sont annoncés	Changement de mode vérifié « vérifié » = fixation oculaire sur le FMA « annoncé » = annonce verbale)	Remarques
H	MAN SRS GA TRK TOGA ALT		Annoncé	*	
	MAN OP CLB HDG TOGA LVR CLB	*	LVR CLB	*	Mouvement manette sans annonce autre que le mode
	THR CLB OP CLB HDG	*	*	*	
	SPD V/S + 3 700 HDG		SPD pull ALT	*	
	THR CLB OP DES HDG		OP DES OP DES HDG	*	OP DES suite à la sélection d'une altitude de 2 500 ft passant 3 000 ft
	THR CLB ALT* HDG		*	*	
i	MAN SRS GA TRK TOGA ALT		Annoncé	Annoncé	Annonce quand les modes ne sont plus encadrés
	MAN SRS HDG TOGA OP CLB		HDG	*	Mouvement sur le FCU vers la gauche pour engager le mode HDG (cap initial de 351) en attendant confirmation ATC cap réel
	SPEED V/S + 3 800 HDG		SPEED	Vérifié	
	THR IDLE OP DES HDG ALT		THR IDLE OP DES THR IDLE OP DES ALT	Vérifié	Tire sur le bouton ALT du FCU suite à l'alarme C-chord
	SPEED ALT* HDG		*	*	Juste avant la montée vers 5 000 ft Note : nouvelle réversion de mode vers V/S courante à - 1 700 ft/min alors qu'ils sont sur ALT* et qu'ils changent ALT de 2 500 vers 5 000.
J	MAN SRS GA TRK TOGA ALT		*	*	
	MAN SRS GA TRK TOGA OP CLB	Demande PF select heading	*	*	
	MAN SRS HDG TOGA OP CLB	Demande PF « pull » « pull »	*	*	

Session	Changement de mode réel	Changement de mode demandé	Changement de mode annoncé « Annoncé » signifie tous les modes sont annoncés	Changement de mode vérifié « vérifié » = fixation oculaire sur le FMA « annoncé » = annonce verbale)	Remarques
	MAN ALT * NAV TOGA LVR CLB		ALT *	*	
	SPEED ALT* NAV LVR CLB		*	*	
	SPEED ALT NAV LVR CLB		*	*	
	THR CLB OP CLB NAV		*	*	
K	MAN SRS GA TRK TOGA ALT		*	*	
	MAN SRS GA TRK TOGA OP CLB		Annoncé	*	
	THR CLB SRS HDG OP CLB	HDG 340	HDG THR CLB	*	
	THR CLB OP CLB HDG ALT		*	*	
	SPEED VS + 3 500 HDG		*	*	
	THR CLB OP CLB HDG		*	*	
	SPEED V/S + 1 500 HDG		*	*	Altitude est sélectionnée au passage des 2 500ft
	SPEED ALT HDG	Appui sur ALT HOLD (maintien 2 700 ft) sur demande PF	*	*	
	ALT HDG		*	*	Déconnexion A/THR
	OP DES HDG ALT	Pull ALT	OPEN DES	*	Tire le bouton ALT à 2 500 ft
	ALT* HDG		ALT* (en même temps que open desc)	OP DES ALT* check	
	SPEED ALT HDG		*	*	Reconnexion PA, A/THR

Note : lorsqu'il y a une astérisque (*) dans une case, cela signifie que la condition n'est pas remplie ou effectuée.

4.2.4 Interactions avec l'ATC

Le tableau suivant récapitule le temps de prise en compte de la clairance de l'ATC ainsi que des extraits de dialogues significatifs.

Note : lors de la séance F, la clairance ATC a été formulée en deux temps : demande initiale de RdG, puis demande de cap 340 et l'altitude de 2 500 ft. L'interaction entre l'équipage et l'ATC n'a donc pas été comparée avec celles des autres séances.

Séances	ATC	Temps de prise en compte de l'altitude au FCU	Temps de prise en compte du cap au FCU	Extrait de dialogue PF	Extrait de dialogue PNF	Commentaires
A	« [compagnie 1] remise de gaz cause piste occupée vous maintiendrez 2 500 ft cap à gauche 340 »	24 s	32 s (prise du cap 240)	10 s : « il a dit 2 500, 2 500 tout de suite et par contre le cap »	19 s : « [compagnie 1] vous pouvez confirmer la clairance ? »	Pas de collationnement de la part du PNF
	« [compagnie 1] remise de gaz gauche 340 vous maintiendrez 2 500 ft cap »	27 s	16 s	9 s : « Heading 340 » 15 s : « 2 500 ft »		Le PF rappelle l'altitude et demande de confirmer le cap Le PN/PFM redemande la clairance à l'ATC avant de sélectionner le cap et l'altitude au FCU Erreur sur le cap sélectionné
B	« [compagnie 1] remise de gaz gauche 340 vous maintiendrez 2 500 ft cap »	29 s	22 s (affichage cap) 29 s (sélection mode)	15 s : « Qu'est-ce qu'il a dit comme cap »		FF rappelle cap et altitude au PNF
C	« [compagnie 1] remettez les gaz à gauche cap 3-4-0, montez 2 500 ft »	20 s	12 s (affichage cap) 23 s (sélection mode)	19 s : « [compagnie 1]...on a remis les gaz vous confirmez le cap ? »	ATC répond cap et altitude Cap affiché mais non sélectionné	ATC rappelle cap et altitude Cap affiché mais non sélectionné
D	« [compagnie 1] piste occupée remise de gaz par la gauche le cap 340 en montée 2 500 ft »	31 s			8 s : « en RdG par la gauche cap 340 en montée vers 5 000 ft »	Collationnement immédiat mais erroné sur l'altitude Correction par l'ATC qui précise 2 500 ft
E	« [compagnie 1] remise de gaz cause piste occupée vous maintiendrez 2 500 ft cap à gauche 340 »	36 s	25 s	10 s : « (...) par la gauche, je ne sais plus »	17 s : « euh...RdG vers 2 500 ft et le cap ? »	Cap affiché mais non sélectionné
F	Demande en 2 temps					
G	« [compagnie 1] la piste est occupée, remise de gaz par la gauche le cap 3-4-0 en montée vers 2 500 ft »	36 s	31 s	17 s : « qu'est-ce qu'il a dit par la gauche ? »	19 s : « Veuillez confirmer vos instructions, on a remis les gaz »	
H	« [compagnie 2] la piste est occupée, remise de gaz virage gauche cap 340 en montée vers 2 500 ft »	40 s	33 s		20 s : « RdG redites le cap svp. »	

Séances	ATC	Temps de prise en compte de l'altitude au FCU	Temps de prise en compte du cap au FCU	Extrait de dialogue PF	Extrait de dialogue PNF	Commentaires
I	« [compagnie 2] la piste est occupée, remettez les gaz, remise de gaz, à gauche cap 340 en montée vers 2 500 ft »	41 s (affichage FCU)	26 s : prise en compte d'un cap à gauche (mode HDG avec cap 351)	3 s : « On remet les gaz [cie XX] » 8 s : « Standby [compagnie 2] on remet les gaz » 26 s : « Vous pouvez répéter pour [cie XX] »	Engagement AP au bout de 16 s Action sur le FCU par le PF	
J	« [compagnie 3] la piste est bloquée, remettez les gaz, par la gauche cap 340 en montée vers 2 500 ft »	51 s (sélection mode)	37 s	27 s (affichage FCU) 9 s : « Select heading 340 » 22 s : « Select 2 500 »	52 s : « [compagnie 3] on a remis les gaz au cap 340 2 500 ft »	Le PF demande d'afficher le cap 340 et l'altitude 2 500 ft en insistant sur le fait de tirer les boutons correspondant du FCU
K	« [compagnie 3] la piste est occupée, RdG ... Je confirme RdG à gauche le cap 340 en montée vers 2 500 ft »		36 s	31 s	13 s : « ... Il a dit quel cap ? »	14 s : « A là...je sais pas » 15 s : « [compagnie 2] en RdG vous me rappelez le cap et l'altitude svp »

Synthèse

Sur les onze RdG1, dix ont été demandées par l'ATC en ajoutant dès le début une consigne de cap (340) et d'altitude (2 500 ft). Pour les dix équipages concernés, la prise en compte de la demande ATC a été effectuée selon différentes modalités :

- un PNF/PM a demandé à l'ATC de répéter sa clairance dans les 15 s après la demande initiale ;
- cinq PF ont demandé au PNF/PM de redemander le cap, dans les 20-25 secondes. Pour ces équipages, la sélection du cap et de l'altitude est intervenue dans les 30 secondes ;
- un équipage a collationné la RdG, en ajoutant *standby* et a repris contact avec l'ATC 30 s plus tard ;
- trois équipages ont pris en compte dès la première demande la clairance ATC en cap et en altitude. Pour ces derniers, peuvent être notés :
 - une erreur de collationnement de l'altitude et une erreur de sélection du mode pour l'altitude (détectée directement par PF) ;
 - un collationnement immédiat avec une erreur de sélection du mode latéral ;
 - une sélection immédiate des clairances données par le PF, collationnement une minute plus tard par le PNF.

4.2.5 Synthèse des entretiens post-simulation

NB : les mots en gras représentent un thème qui a été souligné de manière importante dans le témoignage.

	Difficultés exprimées par le PF	Difficultés exprimées par le PNF	Priorités du PF	Priorités du PNF
A	L'échappée de cap je le vis mal, j'avais l'impression que ça avait duré une éternité. On n'avait pas les mêmes priorités, le PNF/PM ne voyait pas que je retenais les manœuvres.	Quand intervention ATC, le stress augmente. Cf. analyse rapide et gestion des priorités entre poussée, trajectoire, FMA et « oreille ».	<u>Assiette, poussée.</u>	Avion en montée, poussée, assiette, FMA, VFE, altitude.
B	Le FD nous faisait partir dans un sens, ce sont les limites des automatismes dans ces cas là, il est dans sa logique...	Demandes ATC altitude < et cap, je ne pouvais pas lui répondre.	Revenir aux basiques, <u>assiette, poussée</u> , cap, altitude, on est resté volets 20 on a géré la vitesse.	J'ai pensé au vario positif, assiette, poussée. J'ai focalisé sur la vitesse parce que l'on part vite dans des vitesses importantes.
C	L'overshoot.	J'ai trainé, j'ai pas annoncé le vario pour rentrer du train. ... Oui j'avais entendu qu'il avait donné un cap et une altitude mais entre le bruit dans le poste et les annonces du CdB je n'ai pas collationné.	<u>Assiette, poussée</u> , lecture FMA.	Rôle PNF/PM → surveiller paramètres, assiette, puissance, trajectoire.
D	PNF --> peur par rapport à l'altitude.	Les infos du collègue, l'ATC en même temps, en rafale, lourd, pénible.	<u>Assiette, poussée</u> le reste est moins prioritaire.	Trajectoire.
E	Cap, RdG + altitude 3 c'est trop. On ne peut pas traiter toutes les infos.	J'essaie d'entendre ATC et en même temps les annonces du CdB j'en oublie la clairance ATC, le vario +. Je m'emmêle les pinceaux car l'ATC me gêne.	Palm switch <u>Assiette, Puissance</u> , montée, FMA.	J'ai annoncé les modes car souvent ils ne sont pas annoncés et moi ça me permet de me mettre dans la boucle. Le FMA c'est vital en A 320 les modes FMA ça séquence la RdG.
F*	Décision simple, pas de difficultés.	Comme dans le livre, gestion en sequence.	Assiette.	<u>Assiette, poussée</u> en séquence après.
G	Pas de difficultés mais beaucoup d'informations.	J'ai en tête une altitude basse, un cap à gauche mais je ne m'en rappelle plus.	<u>Assiette, poussée.</u>	<u>Assiette, poussée</u> .
H	Un peu de charge de travail, un peu dépassé.	Perturbé par les changements (par rapport au prévu).	Mes actions, c'est d'annoncer go-around, flaps et de lire le <u>FMA</u> puis d'afficher l'assiette.	Je mets la priorité sur la trajectoire, la conduite du vol, <u>positive climb</u> , rentrer toutes les trainées.
I	Pas saturé du tout, pas de difficultés.	Demandes CdB plus ATC, ça fait beaucoup.	Tu suis le FD qui t'affiche le SRS, après on met le PA.	En <u>RdG</u> , j'exécute, on a <u>des annonces à faire</u> , c'est d'abord la sécurité, la trajectoire.
J	L'avion accélère très vite, il passe en capture d'altitude, on a les volets débors, mes actions sont discutables mais j'ai déconnecté les manettes pour ne pas emplafonner les VFE, oui j'ai dépassé le cap aussi car je dv n'est pas bon.	Là j'ai pas tout retenu heureusement que tu [CdB] avais retenu.	Contrôle de la trajectoire et vitesse.	
K	Une charge de travail peu importante.	Surpris par l'assiette peu	<u>Assiette, poussée</u> à la revisu altitude.	

Sur les onze équipages, dix témoignent (au moins pour l'un des deux membres) avoir éprouvé quelques difficultés. Le onzième équipage est celui pour lequel la demande ATC a été effectuée en deux temps.

Les PNF/PM témoignent de difficultés à gérer les communications avec l'ATC en parallèle des demandes du PF, notamment le collationnement du cap et de l'altitude. Les difficultés relatées par les PF sont elles, relatives à la gestion de la trajectoire.

4.2.6 Synthèse générale de la remise de gaz 1

Le scénario de la RdG 1 prévoyait que l'équipage prenne rapidement une évolution ascendante alors que l'avion est aux ou en dessous des minima. L'équipage devait ensuite modifier la trajectoire de remise de gaz prévue pour tenir compte d'une limitation en altitude très forte et d'un cap à gauche.

Conformément aux SOP des compagnies, toutes les RdG ont été précédées d'un briefing réalisé généralement une demi-heure avant. Certains équipages ont effectué un mini-briefing supplémentaire durant l'approche finale en rappelant les points clés de la RdG.

Une remise de gaz débute par l'activation du mode TOGA, l'augmentation de la poussée et la rentrée d'un cran de volets.

Dans les onze séances, cette initialisation a été effectuée sans difficultés ou défaillances majeures par les équipages : tous ont remis les gaz dès la demande de l'ATC, tous ont enclenché le mode TOGA et tous ont rentré un cran de volets. Une variabilité est toutefois constatée : absence d'annonce claire de la remise de gaz (1 cas), pas d'annonce initiale des modes FMA par le PF (2 cas) ou même par l'équipage (2 cas), erreur de cran dans la demande de remontée des volet (écart détecté et corrigé par le PNF/PM). Ces « *approximations* » ont toutes été compensées au sein de l'équipage.

Les tâches affectées au PNF/PM sont, quelques secondes après, voire dès l'initialisation, multiples et de diverses natures (annonces, communications, actions, surveillance) :

- annonce du vario positif et rentrée du train ;
- collationnement de la demande ATC et prise en compte des clairances (sélection du cap, de l'altitude) ;
- vérification de l'initialisation de la RdG (assiette et poussée) ;
- surveillance du pilotage du PF, vérification des modes FMA.

Pratiquement tous les PNF/PM ont témoigné en débriefing de difficultés à gérer simultanément l'ensemble de ces actions. Ces difficultés sont liées :

- au collationnement et à la prise en compte de la demande initiale de l'ATC : « *Là j'ai pas tout retenu heureusement que tu [cdb] avais retenu* » ; « *un cap à gauche mais je ne m'en rappelle plus* » ; « *je ne pouvais pas lui répondre* » ;
- à la surcharge notamment auditive et à la priorisation des actions : « *les infos du collègue, l'ATC en même temps, en rafale, ...lourd, pénible* » ; « *les demandes CdB ajoutées aux demandes ATC, ça fait beaucoup* » ; « *la gestion des priorités entre poussée, trajectoire, FMA et « oreille »* » ;
- aux impacts de la surcharge sur les actions ou annonces à effectuer : « *J'ai traîné, j'ai pas annoncé le vario pour la rentrée du train* » ; « *Je m'emmêle les pinceaux* ».

Devant la surcharge de travail, les membres d'équipage ont été amenés à fixer des priorités dans leurs actions. Lorsqu'ils sont interrogés à ce sujet en débriefing, les PF sont quasi unanimes sur leurs priorités : « *assiette, poussée ou gestion de la trajectoire* ». Les réponses des PNF/PM sont, elles, plus complexes et diverses. Elles se réfèrent aux « *annonces* » à effectuer et aux différentes « *surveillances* » comme « *le vario positif, l'avion en montée, la trajectoire, l'assiette, la poussée* ».

Les équipages qui ont éprouvé des difficultés ont effectué des adaptations par rapport à la procédure. Certaines adaptations ont eu des effets positifs (approche de l'altitude d'interception), d'autres ont conduit à des écarts par rapport au résultat attendu (en trajectoire par exemple).

Concernant la prise en compte de la demande ATC

Le fonctionnement nominal attendu dans le scénario correspond à l'enchaînement séquentiel des actions suivantes : (1) demande ATC de RdG avec cap et contrainte d'altitude ; (2) collationnement du PNF/PM ; (3) sélection du cap demandé avec sélection du mode HDG, sélection de la contrainte d'altitude avec sélection du mode ALT.

Sur les onze RdG1, dix ont été demandées par l'ATC avec ajout, dès le début, de contraintes en cap (340) et en altitude (2 500 ft). Pour les dix équipages concernés, la prise en compte de la demande ATC a été effectuée selon différentes modalités.

Aucun équipage n'a collationné de façon immédiate la RdG, les clairances et contraintes demandées. Seuls deux équipages ont répondu immédiatement à l'ATC pour leur confirmer la RdG.

Sept équipages ont demandé une confirmation de l'altitude et/ou du cap. La gestion s'est donc effectuée en deux temps : l'initialisation de la RdG puis la prise en compte des contraintes ATC. La demande de précision sur les contraintes s'est faite à l'initiative du PNF/PM (deux PNF/PM ont demandé à l'ATC de répéter sa clairance dans les 15 s après la demande initiale) ou du PF (cinq PF ont demandé au PNF/PM de redemander le cap, dans les 20-25 s). Pour ces équipages, la sélection du cap et de l'altitude est intervenue dans les 30 à 40 s.

Trois équipages ont pris en compte dès la première demande la clairance ATC en cap et en altitude. Pour ces derniers, peuvent être notées :

- une prise en compte immédiate par le PF des clairances, rappel de ces clairances au PNF/PM et collationnement une minute plus tard par le PNF/PM (2 équipages) ;
- une erreur de collationnement de l'altitude corrigée immédiatement par l'ATC.

Au total, dans sept cas sur dix, la prise en compte des contraintes ATC ou la demande de confirmation s'est faite à l'initiative du PF.

Concernant l'annonce du vario positif et la rentrée du train

La séquence attendue était la suivante : dès que la vitesse verticale est positive, le PNF/PM annonce « *vario positif* » (ou « *positive climb* »), le PF répond « *train sur rentré* » (ou « *gear up* ») et le PNF/PM rentre le train.

Les onze simulations ont montré que les équipages avaient rentré le train dans les secondes qui suivent le début de la remise de gaz.

On remarque que :

- sept équipages ont suivi exactement la séquence prévue ;
- dans deux cas l'annonce « *vario positif* » par le PF a juste précédé la demande de rentrée du train ;
- dans un cas, le PF a demandé la rentrée du train d'un mouvement du doigt ;
- dans un cas, le PNF a rentré le train à la suite de son annonce « *positive climb* » sans attendre la confirmation PF.

Concernant la gestion de la poussée et sa surveillance

Les équipages ont tous appliqué la poussée TOGA dès la demande de RdG. L'enclenchement de la poussée a été la première action effectuée par le PF en même temps ou avant l'annonce de la RdG par le PNF.

Les équipages ont à leur disposition plusieurs moyens de vérifier l'application de la poussée TOGA : le positionnement des manettes, le mode affiché au FMA, la poussée réelle des moteurs. L'un des pilotes l'exprime très clairement en débriefing « *on pousse jusqu'au cran TOGA, on le vérifie au FMA, en allant voir le train on vérifie les N1* ».

Sur les vingt-deux pilotes, sept PF et six PNF/PM citent la poussée comme une de leur priorité. Cependant, peu de communications entre les membres d'équipage concernent la poussée. La plupart des actions suivant l'application de la poussée se sont limitées à la lecture du mode FMA correspondant. Un seul PNF/PM a effectivement annoncé la vérification de la poussée « *on a la poussée* ». A contrario, un PF a déconnecté l'auto-poussée sans l'annoncer (PNF « *l'autothrust on l'a déconnectée ?* », PF « *oui c'est déconnecté* »). Plus généralement, la plupart des équipages se sont appuyés sur l'automatisme pour la gestion de la poussée (« *l'auto-manette [qui] devrait savoir faire* »).

Sur les onze remises de gaz, quatre adaptations par rapport au fonctionnement attendu ont pu être notées :

- une réduction de la poussée à l'interception de l'altitude de RdG sans annonce du PF ;
- le maintien de la pleine poussée pendant 10 s alors que le message LVR CLIMB clignote, l'AP étant enclenché et le PF occupé à la sélection d'un cap et d'une altitude ;
- un désengagement manuel de l'A/THR (deux cas).

Concernant la gestion des modes (et automatismes), leur annonce et leur surveillance

L'enclenchement du mode initial de remise de gaz est effectué de deux façons selon l'avion :

- par appui sur les palettes « *palm switch* » sur Boeing ;
- de façon automatique lorsque la manette de poussée est positionnée dans le cran TOGA sur Airbus.

Comme précisé précédemment, tous les équipages ont enclenché ce mode initial :

- les modes initiaux sont annoncés par huit PF (sur onze) et vérifiés (avec annonce) par cinq PNF/PM ;
- un PNF/PM annonce les modes initiaux ;
- deux équipages n'annoncent pas les modes initiaux.

L'un des PF a expliqué en débriefing cette absence d'annonce « *je ne l'ai pas fait sur celle-ci car je ne voulais pas couper le PNF/PM dans son projet d'action, il est en train de rentrer les volets* ». Un PNF/PM a expliqué son annonce : « *j'ai annoncé les modes car souvent ils ne sont pas annoncés et moi ça me permet de me mettre dans la boucle car j'ai une expérience 320 et le FMA c'est vital, les modes FMA ça séquence la RdG* ». Cette lecture apparaît en revanche très coûteuse en temps et charge cognitive.

L'action suivante requise est la modification de trajectoire demandée par l'ATC. Les équipages sélectionnent un cap et une altitude, donc les modes « *heading* » et « *altitude* ».

Les difficultés de sélection suivantes ont été observées :

- mode HDG non sélectionné par le PNF, détecté immédiatement par le PF : « *heading sel* » ;
- mode HDG non sélectionné par le PNF, détecté immédiatement par le PF : « *tu me passes en HDG stp* » ;
- bref passage en mode HDG mais modifié à la demande du PF « *pull* » et le PNF/PM push, mode NAV non détecté.

Le nombre de changements de mode varie entre trois (minimum possible) et une dizaine. Cette variation est notamment due à l'altitude réelle de l'avion à l'instant de prise de compte de la contrainte d'altitude.

Sur Boeing, trois changements de mode se succèdent : mode RdG, puis changement du mode latéral (HDG SEL) et changement du mode vertical (ALT).

Sur Airbus, les changements de mode varient de quatre à plus de dix. La séquence prévue en RdG a été perturbée par la prise en compte des contraintes ATC et par les différentes stratégies utilisées pour les respecter. En effet, la modification de l'altitude d'interception (de 5 000 ft à 2 500 ft) peut conduire à des changements et reversions de mode notamment vers le mode basique V/S. Cela a pu se traduire, dans certains cas, par un nombre important de changements de modes dans un enchaînement très bref.

L'une des RdG enregistrées montre ainsi neuf changements de mode successifs. Ces changements ont rarement été annoncés. La plupart n'ont pas été détectés. Les procédures de l'exploitant étaient celles du constructeur.

MAN TOGA	SRS	GA TRK
MAN TOGA	OP CLB	HDG
SPEED	V/S + 3700	HDG
THR IDLE	OP DES	HDG
SPEED	ALT*	HDG
THR CLB	OP CLB	HDG

Figure 17 : modes FMA

La prise en compte tardive de la contrainte d'altitude a amené plusieurs équipages à activer le mode « *open descent* » (OP DES) dans les cas où l'altitude réelle de l'avion était supérieure à l'altitude de rétablissement sélectionnée par l'équipage au FCU.

Ces réversions et changements de mode peuvent amener l'avion à poursuivre sa montée avec une vitesse verticale très importante indépendamment de la contrainte d'altitude. Cette situation a été difficilement détectée par certains équipages puisque ceux-ci s'attendent à ce que l'altitude sélectionnée au FCU soit prise en compte par les automatismes de l'avion. Ainsi, seule la conséquence (apparition du mode VS) a permis aux équipages de se rendre compte de cette réversion, l'altitude de 2 500 ft reste, elle, affichée. Dans tous les cas, la détection d'une réversion a conduit à une action immédiate de l'équipage.

La surveillance des modes FMA est donc difficile mais cruciale pour la compréhension du comportement de l'avion.

Concernant la gestion de la trajectoire, sa surveillance et l'annonce des écarts

Les changements de procédure de RdG demandés par l'ATC représentent également une forte contrainte pour l'équipage.

Le suivi de la trajectoire est donc soumis à une variabilité inhérente à cette forte contrainte. Ont notamment été observés de légers dépassemens d'altitude dus en partie à l'inertie de l'avion ou à un suivi plus ou moins précis du FD en vertical (écarts de l'ordre de 100 à 200 ft).

Dans le plan vertical, des écarts plus importants d'altitude ont aussi été constatés :

- prise en compte de la limitation à 2 500 ft alors que l'avion est à environ 3 000 ft. Deux stratégies différentes sont observées : pour la première, sélection de 3 000 ft au FCU avec demande de confirmation à l'ATC et pour la seconde, 2 500 ft sélectionné et passage en mode OP DES ;
- dépassement de 1 400 ft dû notamment à un dépassement d'altitude avant la prise en compte de la contrainte ATC, puis un passage en mode VS non détecté.

La limitation de poussée, que ce soit la limitation automatique de la vitesse verticale ou la gestion manuelle de la poussée, a permis à certains équipages d'éviter des dépassemens d'altitude trop importants.

Dans le plan latéral, des écarts dans le suivi du cap ont également été constatés. Des équipages ont, par exemple, pris immédiatement en compte la demande de l'ATC en anticipant la sélection d'un cap précis.

Des écarts plus importants ont aussi été constatés :

- suite à une erreur d'affichage : lors d'une remise de gaz, le PNF/PM a collationné 340 mais entré 240 au FCU. Le PF a vérifié que le mode HDG était sélectionné et a suivi le FD pour la trajectoire latérale. L'écart par rapport à la trajectoire demandée ne pouvait pas être détecté en comparant les actions du PF à celles indiquées par le FD. Le seul support dans le cockpit sur lequel le cap réellement demandé pouvait être présent était la mémoire des pilotes. C'est l'ATC qui a « détecté » et informé l'équipage de l'échappée de cap ;
- suite à un doute de l'équipage sur l'affichage : le 340 est bien sélectionné par le PNF, le PF répète les demandes de modification « *par la gauche, 2 500 ft* ». Il témoigne en débriefing, avoir bien intégré l'altitude mais conservé un doute sur le cap. Il effectue initialement un virage par la gauche, sans suivre le FD. Alors

qu'il est au cap 320, il redemande le cap au PNF/PM qui lui confirme alors que le cap demandé est dépassé. Le PF explique en débriefing : « *oui à un moment je m'en rends compte, il a affiché 340, je vois la barre de tendance à droite alors qu'on doit aller à gauche donc j'ai overshooté, altitude vitesse ça c'était bon* ». Le PNF, quant à lui, indique en débriefing, avoir surveillé la vitesse et l'altitude : « *je n'avais pas vu la barre DV* » ;

- suite à une erreur de sélection de mode : le cap 340 est bien affiché mais le mode heading n'est pas sélectionné. Le PF entame un virage à gauche jusqu'au cap 325 sans suivi du FD, s'aperçoit de la première échappée de cap (« *le cap 340, je l'ai dépassé* »), suit le FD qui lui indique des ordres pour suivre la procédure de RdG du FMS (mode NAV). Le cap atteint le 030. Le PF s'en aperçoit alors que le PA est réengagé et que l'avion entame un virage à droite comme prévu dans la trajectoire initiale. Le PNF/PM avait très peu d'expérience sur l'avion.

Ces écarts mettent en évidence la multiplicité des informations prises en compte par l'équipage pour suivre une trajectoire latérale :

- la clairance initiale « *à gauche* » par l'ATC ;
- la clairance « *340* » précisée par l'ATC ;
- l'affichage du cap « *340* » au FCU ;
- la vérification sur le PFD et les annonces associées ;
- le barre latérale du FD ;
- l'information de cap sous l'horizon ;
- le suivi de la trajectoire indiqué sur le ND.

En situation nominale, toutes ces informations sont concordantes et pour certaines redondantes. En situation critique, la précision et la validité des données peuvent différer, le PF n'a pas forcément les ressources nécessaires pour appréhender les différentes sources et le rôle de surveillance du PNF/PM est alors primordial. De plus, cette surveillance globale peut se révéler incomplète en cas d'erreur de sélection de mode ou de cap.

Concernant le maintien de l'avion dans son domaine de vol opérationnel et sa surveillance

Les procédures de RdG prévoient que les volets soient rentrés d'un cran et, une fois la vitesse verticale positive annoncée, que le train soit rentré sur demande du PF. Cette tâche demande de l'attention de la part du PF et du PNF/PM.

Par la suite, le PF doit principalement assurer la gestion de la trajectoire et demander la rentrée des volets jusqu'à ce que la configuration de l'aéronef devienne lisse. Le PNF/PM doit surveiller la trajectoire tout en effectuant les rentrées successives de volets suffisamment rapidement pour que la VFE ne soit pas dépassée et également se procurer des marges supplémentaires en vitesse.

Lors des simulations, il a été noté que, dans cette phase :

- les modes FMA n'étaient quasiment jamais lus par les deux membres d'équipage après la vérification initiale du mode de RdG ;
- les échanges verbaux étaient relativement pauvres ;
- la surveillance des actions du PF (assiette/ suivi du FD) par le PNF/PM en particulier mais aussi du PNF/PM (sélection cap/altitude) par le PF n'était pas optimale ;
- les erreurs commises (cap/vitesse/mode etc...) n'étaient pas détectées immédiatement mais souvent après de larges excursions.

Les vérifications croisées, annonces et coordination de l'équipage sont donc difficiles à réaliser lors d'une remise de gaz non conforme aux procédures publiées.

Pour autant, sans que la sécurité soit compromise, les deux membres d'équipage ont souvent effectué des adaptations réussies par rapport à l'application stricte de la procédure. En revanche, certaines adaptations de l'équipage ont mené à des écarts de trajectoire.

4.3 Circuit visuel PF / PNF-PM

4.3.1 Mesures

L'oculométrie permet de réaliser de nombreuses mesures physiologiques et comportementales. Cette étude se concentre sur l'analyse des fixations du regard pour inférer en partie la distribution de l'attention des pilotes lors de la remise de gaz. Il faut néanmoins considérer une limite à cette approche : une fixation du regard sur une information (ex : vitesse) ne permet pas de conclure qu'un pilote y a porté effectivement son attention et qu'il a traité réellement la valeur de cette information. Toutefois, il est admis que plus les fixations sont longues et fréquentes sur une information, plus la probabilité que cette information soit traitée est grande. Ainsi l'approche statistique se révèle utile pour aider à faire le lien entre fixation et distribution de l'attention.

Le traitement des données d'*eye tracking* permet d'obtenir différentes données qualitatives ou quantitatives :

- des cartes de chaleur ;
- des représentations graphiques de l'ordre temporel des fixations oculaires ;
- des pourcentages de temps passé sur des zones du cockpit ;

Carte de chaleur

Les cartes de chaleurs rendent compte de la densité des fixations oculaires⁽⁹⁾ dans le cockpit durant la période de la RdG. Le gradient de teinte des cartes de chaleur est adapté pour chaque pilote et la région la plus densément fixée apparaît systématiquement en rouge.

⁽⁹⁾La densité oculaire correspond au nombre de fixations par unité de surface.

Il faut donc éviter de comparer les cartes de chaleur entre elles sur la base de la couleur d'une zone.



Figure 18 : carte de chaleur de la remise de gaz d'un PNF

Note : le gradient de couleur du bleu (froid) au rouge (chaud) représente le « *degré* » d'intérêt pour une information : plus une information a été fixée, plus celle-ci tend vers le rouge et plus il est probable que le pilote y a porté son attention. Ce type de représentation permet de montrer par exemple que ce pilote a porté plus particulièrement son attention sur l'horizon artificiel, la vitesse et le FMA.

Les analyses visant à comptabiliser les fixations sur différentes zones du cockpit nécessitent préalablement la définition de ces zones.

Définition des Zones d'Intérêt (ZI)

Les ZI dans le cockpit peuvent correspondre soit à une information (ex : vitesse) soit à un ensemble d'information présentées dans un cadran (ex : le ND). Ceci permet de générer l'ordre et la durée des fixations dans chacune des ZI au cours du temps (ex : au temps t0, le pilote a fixé la vitesse pendant 120 ms) et de déterminer le pourcentage de temps de fixation dans chacune des ZI pendant toute la durée de la remise de gaz (ex : le pilote a passé 30 % du temps à fixer la vitesse durant toute la remise de gaz).

Les ZI ont été choisies en fonction des besoins de l'étude, des observations initiales, et des limitations de l'outil *Eye Tracker*. Elles sont entourées sur les schémas ci-dessous.



Figure 19 : définition des ZI
au niveau du cockpit



Figure 20 : définitions des ZI
au niveau du PFD

Une ZI qualifiée de « *Hors Zones Identifiées (HZI)* » a été définie. Elle correspond à toutes les fixations qui ne sont pas dans l'une des ZI mentionnées ci-dessus. En pratique, il s'agit principalement de la gestion de la configuration de l'avion. Le HZI comprend également du bruit de mesure (fixations en bordure d'une ZI) ou encore les mouvements de tête. Cette dernière catégorie a été minimisée au cours des différentes analyses et n'influence pas les tendances dégagées par la suite.

Représentations graphiques de la séquence temporelle des fixations oculaires

Cette représentation permet d'identifier d'une part le séquencement des fixations oculaires et leur durée.

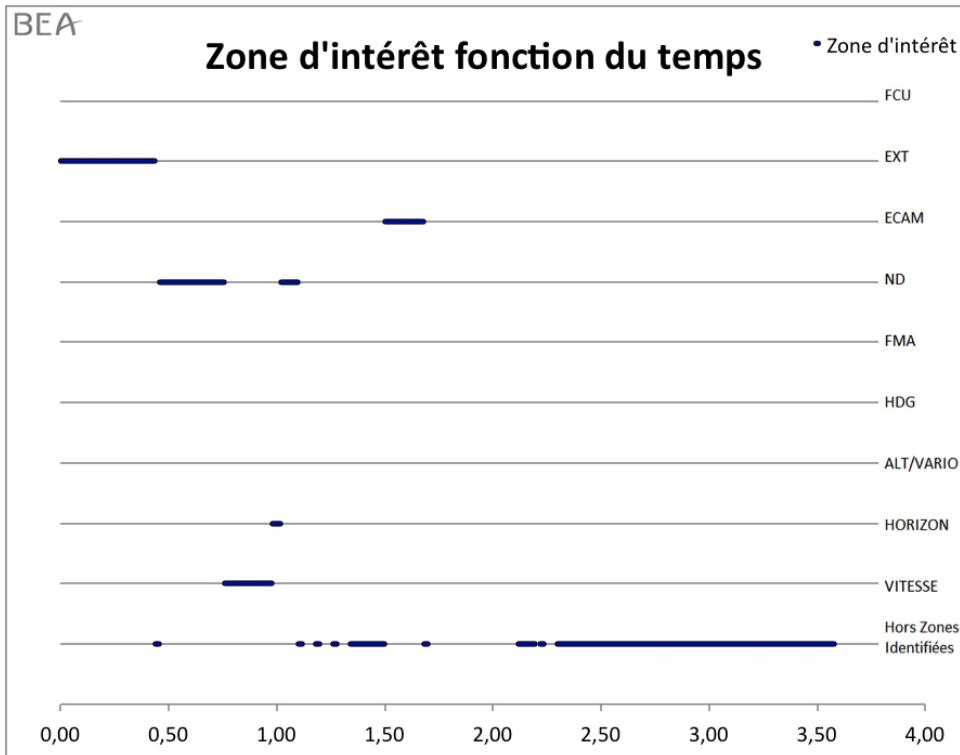


Figure 21 : représentation graphique des ZI regardées en fonction du temps.

Pendant les cinquante premières millisecondes, le pilote a regardé à l'extérieur,
puis a fixé le ND durant environ trente millisecondes

Pourcentage de temps passé sur les différentes ZI au cours de la remise de gaz

Le tableau suivant montre un exemple du pourcentage de temps passé sur chaque ZI lors d'une RdG : il s'agit de la répartition de l'attention visuelle durant la RdG. A titre indicatif, le pilote a passé 8,3 % du temps à fixer l'altitude.

Nom	Description	Durée (%)
Hors Zones		20,6
VITESSE	Bandeau de vitesse	15,5
HORIZON	Horizon artificiel/ FD	20,5
ALT	Bandeau d'altitude	8,3
HDG	Indicateur de cap sur le PFD	2,0
FMA		18,7
ND		9,3
ECAM		0,6
EXT	Pare-brises	1,7
FCU	Panneau de contrôle du vol	2,8

4.3.2 Résultats

Lors de l'expérimentation, toutes les RdG ont été réalisées dans l'ordre prévu par le scénario. Les résultats de la RdG1 sont analysés de manière plus détaillée car l'effet de surprise est maximal pour l'équipage. Pour les RdG suivantes, il existe un biais d'apprentissage et a priori, un effet moindre de surprise. Les résultats de la RdG2 sont toutefois concordants avec ceux de la première. Les résultats de la RdG3 viennent apporter des éclairages sur le comportement oculaire et la disponibilité attentionnelle lorsque la RdG est effectuée au PA.

Remise de gaz 1 : comparaison du comportement oculaire du PF et du PNF

La figure ci-dessous présente les pourcentages de temps moyens passés sur chaque ZI pour les PF et PNF. Deux participants ont été exclus des analyses statistiques : le PF de la session I (manque de fiabilité de la mesure) et le PNF/PM de la session E (mesure inexploitable).

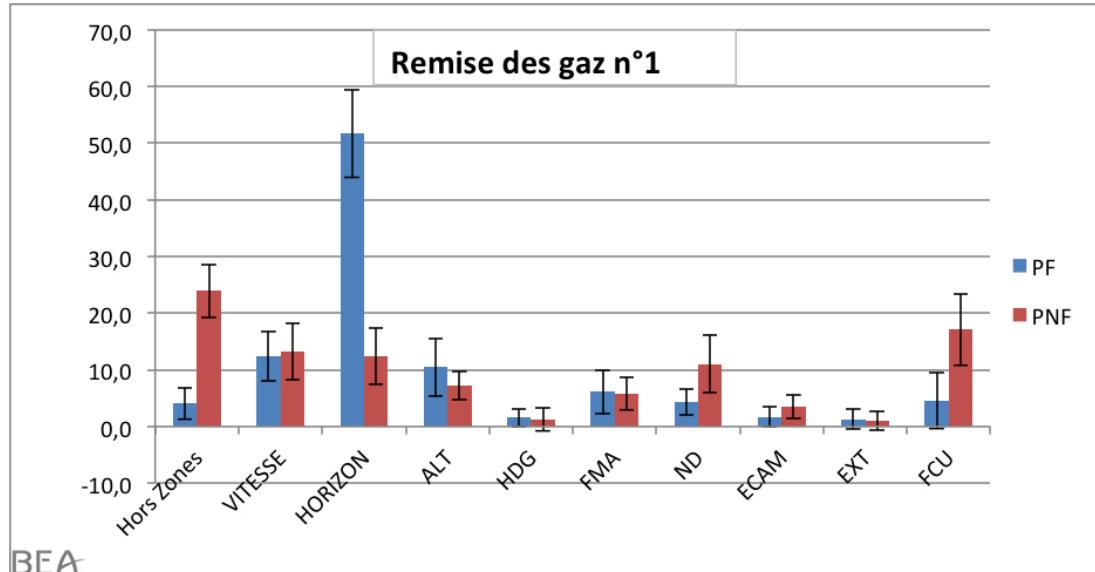


Figure 22 : pourcentages de temps passés par ZI durant la RdG1

Les barres d'erreurs représentent les écarts types.



Figure 23 : PF

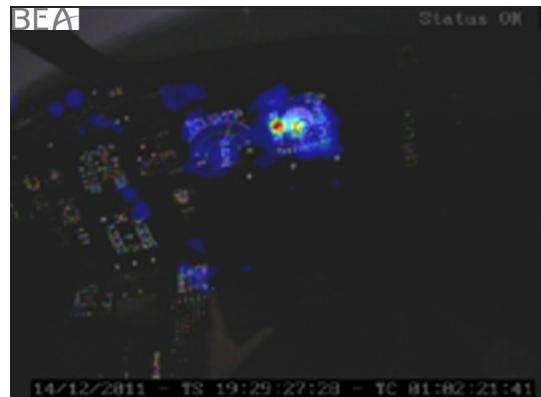


Figure 24 : PNF

Les cartes de chaleur sont représentatives de la RdG1, PF & PNF. La figure 23 montre que l'attention du PF est généralement focalisée sur les informations basiques de pilotage du PFD tandis que l'attention du PNF/PM est beaucoup plus partagée et diffuse que celle du PF dans la figure 24.

Les analyses statistiques révèlent que les comportements oculaires diffèrent entre le PF et le PNF. La ZI HORIZON, objet d'une forte focalisation par le PF (plus de 50 % en moyenne) est nettement moins fixée par le PNF/PM (12,5 %). Inversement, le PNF/PM observe en moyenne d'avantage le HZI (Hors Zones Identifiées - 23,9 % contre 4,1 % chez le PF), le FCU (17,1 % contre 4,6 %) ainsi que le ND (11 % contre 4,4 %). L'étude statistique confirme que ces quatre ZI sont celles qui permettent de différencier le mieux le circuit visuel du PF par rapport au PNF/PM au cours de la RdG1.

Une analyse statistique a été réalisée (pour les PF d'une part et les PNF/PM d'autre part) afin de mieux cerner la distribution quantitative du temps passé sur les différents instruments du cockpit. Cette analyse permet de dégager des groupes homogènes statistiquement bien distincts les uns des autres. Ces groupes peuvent être constitués d'une ou plusieurs ZI (lorsque celles-ci ne sont pas statistiquement dissociables). Par cette analyse, il est possible de formellement établir des relations hiérarchiques entre ces groupes de ZI au sens de la quantité de temps passé sur ces dernières (en %). Ces groupes de ZI sont présentés dans les tableaux suivants.

Ainsi pour le PF, l'HORIZON ARTIFICIEL est l'objet de pourcentages de temps de fixations statistiquement bien supérieurs à toutes les autres régions (Groupe 1). Après l'horizon artificiel, les zones d'affichage de la vitesse, à droite de l'horizon et de la zone d'affichage de l'altitude et du vario (à gauche) sont les plus surveillées par le PF.

Pour le PNF, la principale région observée est le HZI (groupe 1), suivi du FCU (groupe 2), puis d'un groupe de ZI constitué de VITESSE / ND / HORIZON. Enfin, objet des proportions de fixations les plus faibles, se retrouve le groupe 4 constitué d'ALT/ VARIO / FMA / ECAM.

Groupe	Zones d'intérêt	% de temps passé
Groupe 1	HORIZON	51,7 %
Groupe 2	VITESSE	12,3 %
	ALT	10,5 %
Groupes 3	FMA	6,1 %
	FCU	4,6 %
	ND	4,3 %
	Hors Zones	5,9 %
	ECAM	1,7 %
	HDG	1,6 %
	EXT	1,3 %

Groupes de ZI pour le PF lors de la RdG1

Groupe	Zones d'intérêt	% de temps passé
Groupe 1	Hors Zones Identifiées	25,7 %
Groupe 2	FCU	17,1 %
Groupe 3	VITESSE	13,2 %
	HORIZON	12,4 %
	ND	11,0 %
Groupes 4	ALT	7,2 %
	FMA	5,8 %
	ECAM	3,4 %
	HDG	1,3 %
	EXT	1,0 %

Groupes de ZI pour le PNF/PM lors de la RdG1

Synthèse RdG1

Les résultats statistiques révèlent que les comportements oculaires du PF et du PNF/PM sont différents. Globalement, les pourcentages de temps passés sur les ZI consultées durant la RdG1 sont les mêmes pour les PF d'une part, et pour les PNF/PM d'autre part. Toutefois, en ce qui concerne le PNF, les trajectoires des circuits visuels ne sont pas homogènes. Ainsi, bien que les PNF/PM regardent globalement les mêmes zones, ils ne le font pas de la même manière ni avec le même séquencement.

Les résultats suggèrent que les prises d'information principales du PF (ZI HORIZON, VITESSE et ALT/VARIO) traduisent que celui-ci est principalement focalisé sur le pilotage de la trajectoire. Il est intéressant de constater que ces prises d'information se réalisent sur un espace restreint (i.e. le PFD) et concentrent plus de 70 % de l'attention visuelle. De tels résultats semblent suggérer que le pilotage de la trajectoire est une activité exclusive qui génère une charge de travail élevée pour le PF.

L'attention visuelle du PNF/PM est au contraire plus distribuée, ce qui est cohérent avec une activité liée à la programmation de la trajectoire, à la gestion de la configuration de l'avion et à la surveillance des différents paramètres. Ainsi le PNF/PM effectue majoritairement des prises d'information sur la ZI « *Hors Zones Identifiées* » qui correspond à la gestion de la configuration (train, volets, panneau radio ou encore *overhead panel*). La gestion de la configuration nécessite également de surveiller régulièrement les vitesses (VFE). Ce constat est renforcé par les communications verbales de certains PNF/PM attirant l'attention à plusieurs reprises du PF pour la rentrée des volets. Il est intéressant de constater que les PNF/PM passent statistiquement plus de temps à fixer les informations de vitesse que les informations d'altitude. Enfin, il apparaît que la gestion de la trajectoire via le MCP/FCU accapare l'attention des pilotes : la ZI FCU est la deuxième zone la plus regardée. Au total, les manipulations sur les interfaces semblent consommer plus de 55 % des fixations oculaires. L'analyse de ces données ainsi que la visualisation des vidéos d'*eye tracking* semblent soutenir l'idée que le PNF/PM doit traiter un grand nombre d'informations durant un intervalle de temps très court. La charge de travail semble également élevée pour le PF.

Etude de la RdG2

La RdG2, bien que réalisée manuellement, diffère en certains points de la RdG1. D'une part, la remise de gaz est l'initiative de l'équipage et non la réponse d'un « *ordre* » ATC. D'autre part, la clairance de la trajectoire de l'ATC ne contient qu'une information liée à la modification de l'altitude, contrairement à celle de la RdG1 qui contraint les équipages à changer leur cap et leur altitude de RdG. Enfin, le fait que l'équipage ait réalisé une remise de gaz peu de temps avant peut conditionner sa réaction.

La figure ci-dessous présente les pourcentages de temps passé par ZI durant la RdG2 pour les PF et PNF, avec écart type (barres d'erreur). Pour l'étude de la RdG2 ont été écartées les sessions D et I pour le PF (mesure non fiable pour une étude statistique) et les sessions A, B, F et I pour le PNF/PM (mesures non fiables ou inexploitables).

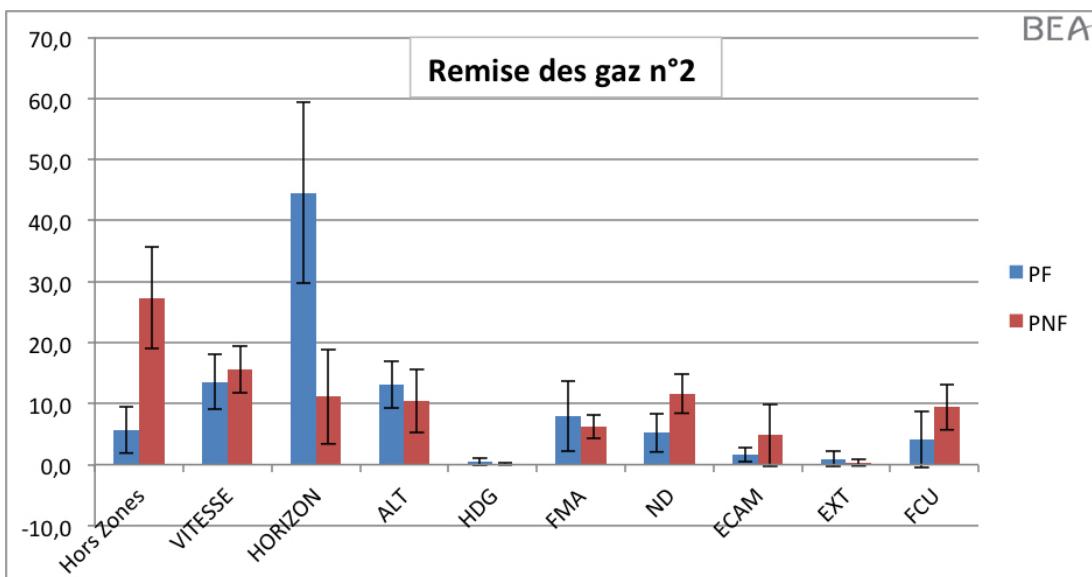


Figure 25 : pourcentages de temps passés par ZI pour la RdG2



Figure 26 : carte de chaleur représentative de la RdG2 PF



Figure 27 : carte de chaleur représentative de la RdG2 PNF

Bien que l'analyse statistique n'ait pas été menée pour la RdG2, le comportement oculaire des pilotes est semblable à la RdG1, à l'exception du pourcentage de temps passé sur le FCU qui est moindre. Cette différence peut s'expliquer par l'absence de consigne en cap dans la clairance initiale, alors que la clairance de la RdG1 contient une altitude et un cap.

Etude de la RdG3

La RdG3 diffère des deux autres car elle est réalisée au PA et il y a inversion des rôles PF/PNF. De plus, l'ATC n'ajoute pas de contraintes et la trajectoire de RdG est donc celle qui est publiée.

La figure ci-dessous présente les pourcentages de temps passé par ZI durant la RdG3 pour les PF et PNF, avec écart type (barres d'erreur). Des participants ont été exclus des analyses car la précision de l'*eye tracking* n'était pas suffisante : les PF des sessions A, E, H et I et les PNF/PM des sessions A, E, F et H.

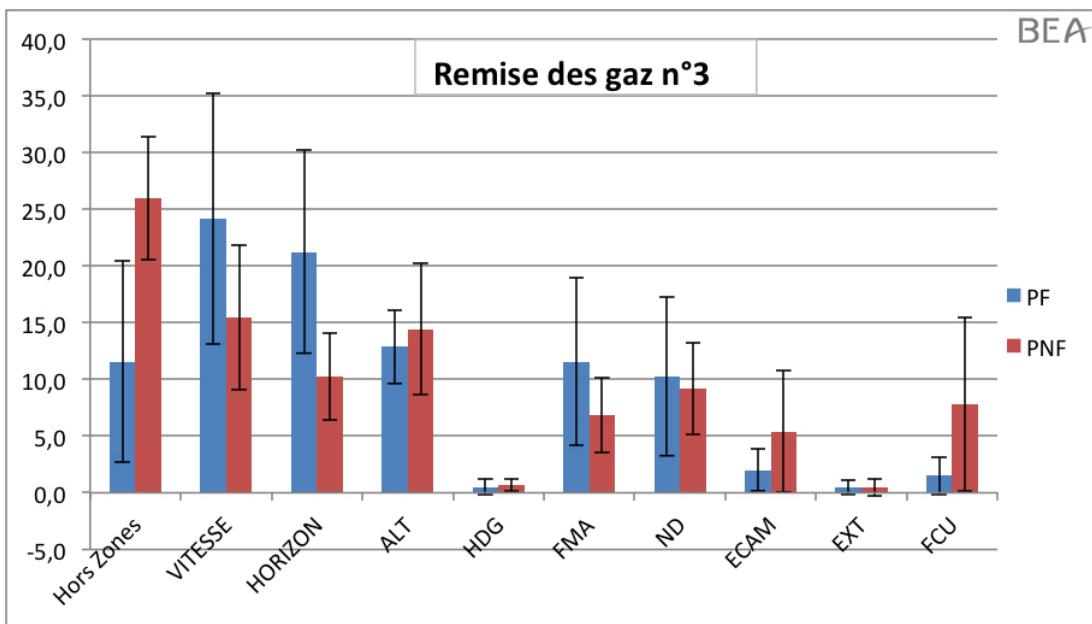


Figure 28 : pourcentages de temps passés par ZI pour la RdG3

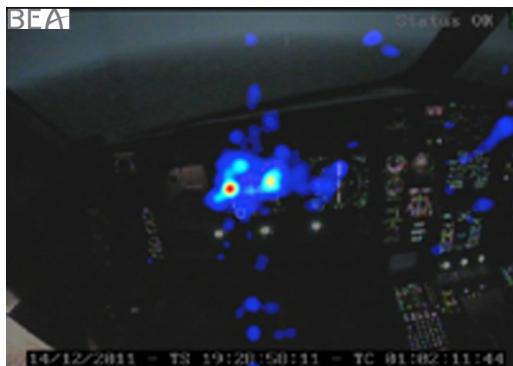


Figure 29 : carte de chaleur
représentative de la RdG3 PNF

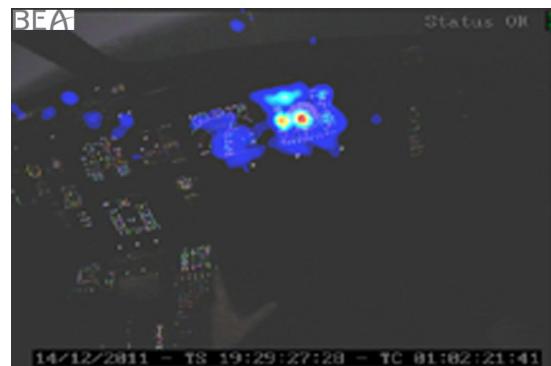


Figure 30 : carte de chaleur
représentative de la RdG3 PF

Les analyses statistiques montrent que les PF et PNF/PM sont dissociables, comme pour la RdG1. Les ZI les distinguant sont le HZI (PF : 25,95 % ; PNF/PM : 11,55 %) et l'HORIZON (PF : 10,23 % ; PNF/PM : 21,25 %). Des groupes de ZI sont identifiés. L'analyse statistique permet d'isoler les ZI VITESSE (24,1 %) et HORIZON (21,3 %) comme groupe dominant pour le PF. La place qu'occupe la vitesse est probablement due, comme en RdG1, à la surveillance des VFE.

Pour le PNF, le HZI (26 %) constitue le groupe dominant.

Synthèse RdG3

L'analyse de la RdG3 révèle que le comportement oculaire des pilotes est différent de ceux qui sont observés dans les deux RdG précédentes. Ceci est particulièrement notable en ce qui concerne la distribution de l'attention visuelle du PF. Le pourcentage de temps passé sur la ZI HORIZON chute au profit de la vitesse, du FMA et du ND. Cette distribution plus homogène (en comparaison avec les RdG1 et 2) est probablement associée à une plus grande disponibilité du PF du fait qu'elle est réalisée au PA: le PF ne réalise plus une tâche de pilotage, mais de contrôle. Aussi, l'absence d'ajout de clairance par rapport à la trajectoire publiée diminue la charge de travail de l'équipage.

Le pourcentage de temps passé par le PNF/PM sur le FCU semble élevé alors que celui-ci n'est pas sensé manipuler cette interface lors d'une RdG au PA. Ce résultat peut s'expliquer car certains équipages (deux au moins) n'ont pas respecté cette répartition des tâches. En effet, pour ces deux équipages, le temps passé sur le FCU est relativement long. Il faut rappeler que le PNF/PM est le CdB.

Comparaison RdG1 et RdG3 : pourcentage de temps passé sur le FMA par le PF

Les résultats montrent que le FMA est statistiquement plus observé par le PF lors de la RdG3 (11,6 %) que lors de la RdG1 (6,1 %). Les pourcentages de temps restent faibles. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que la RdG3 est réalisée au pilote automatique et demande une surveillance particulière des pilotes pour vérifier la bonne activation des modes automatiques. De plus, le PF dispose d'une plus grande disponibilité attentionnelle car il n'a pas à piloter la trajectoire comme c'est le cas lors de la RdG1.

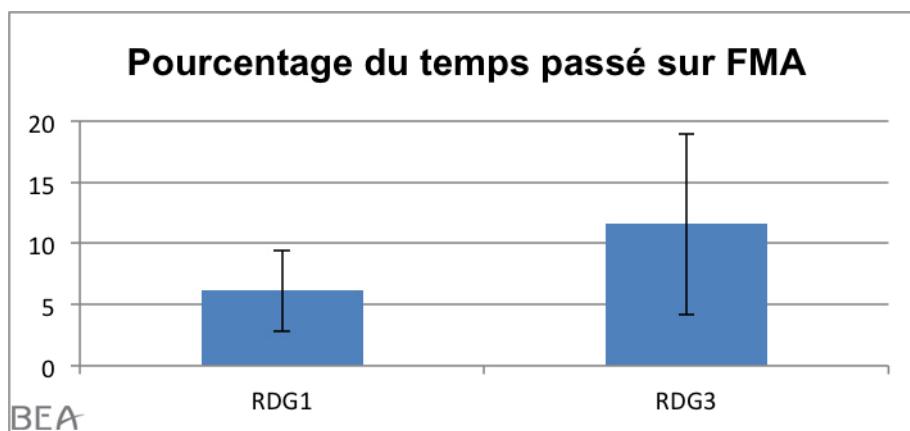


Figure 31 : comparaison du pourcentage de temps passé par le PF sur la ZI FMA lors de la RdG1 et la RdG3

Le PF passe presque deux fois plus de temps à surveiller le FMA lorsque la RdG est en mode automatique (Rdg3) que lorsque celle-ci s'effectue manuellement.

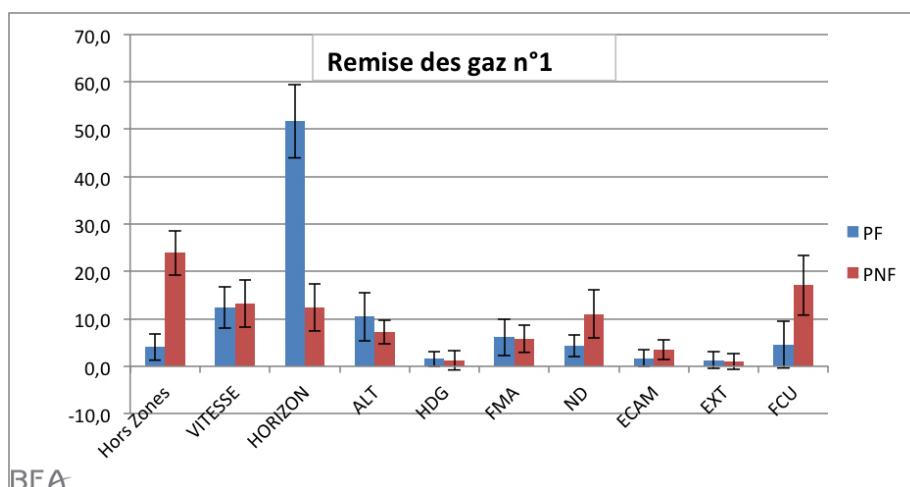


Figure 32 : pourcentage de temps passé par ZI pour la remise de gaz 1

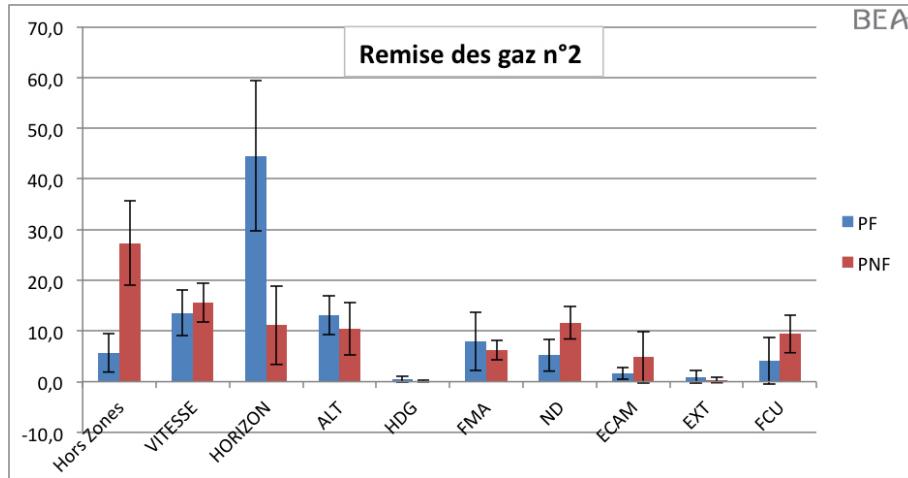


Figure 33 : pourcentage de temps passé par ZI pour la remise de gaz 2

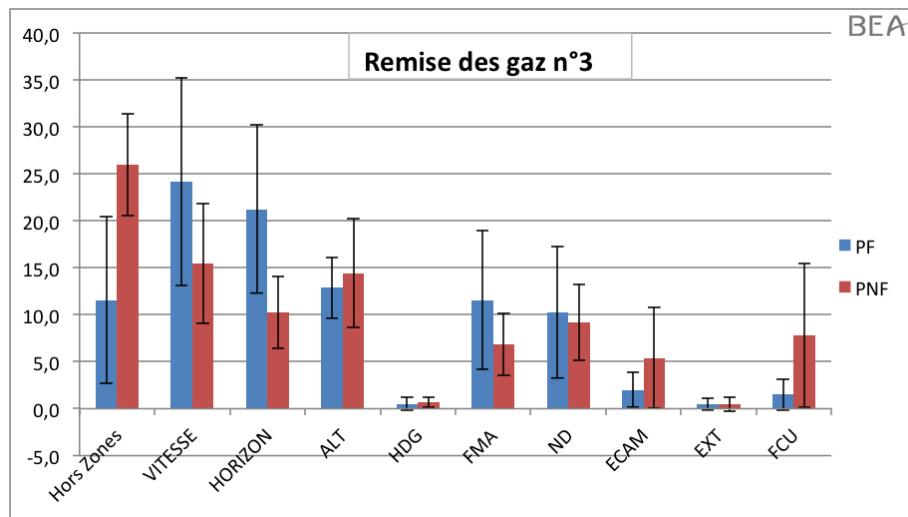


Figure 34 : pourcentage de temps passé par ZI pour la remise de gaz 3

Analyse temporelle des fixations lors de la RdG1

Une représentation graphique des ZI regardées en fonction du temps a été éditée pour la RdG1. Cette représentation permet de visualiser d'un point de vue temporel la manière dont ont été regardées les ZI. Les figures ci-dessous sont un extrait de ces visualisations, disponibles dans leur intégralité en annexe 3.

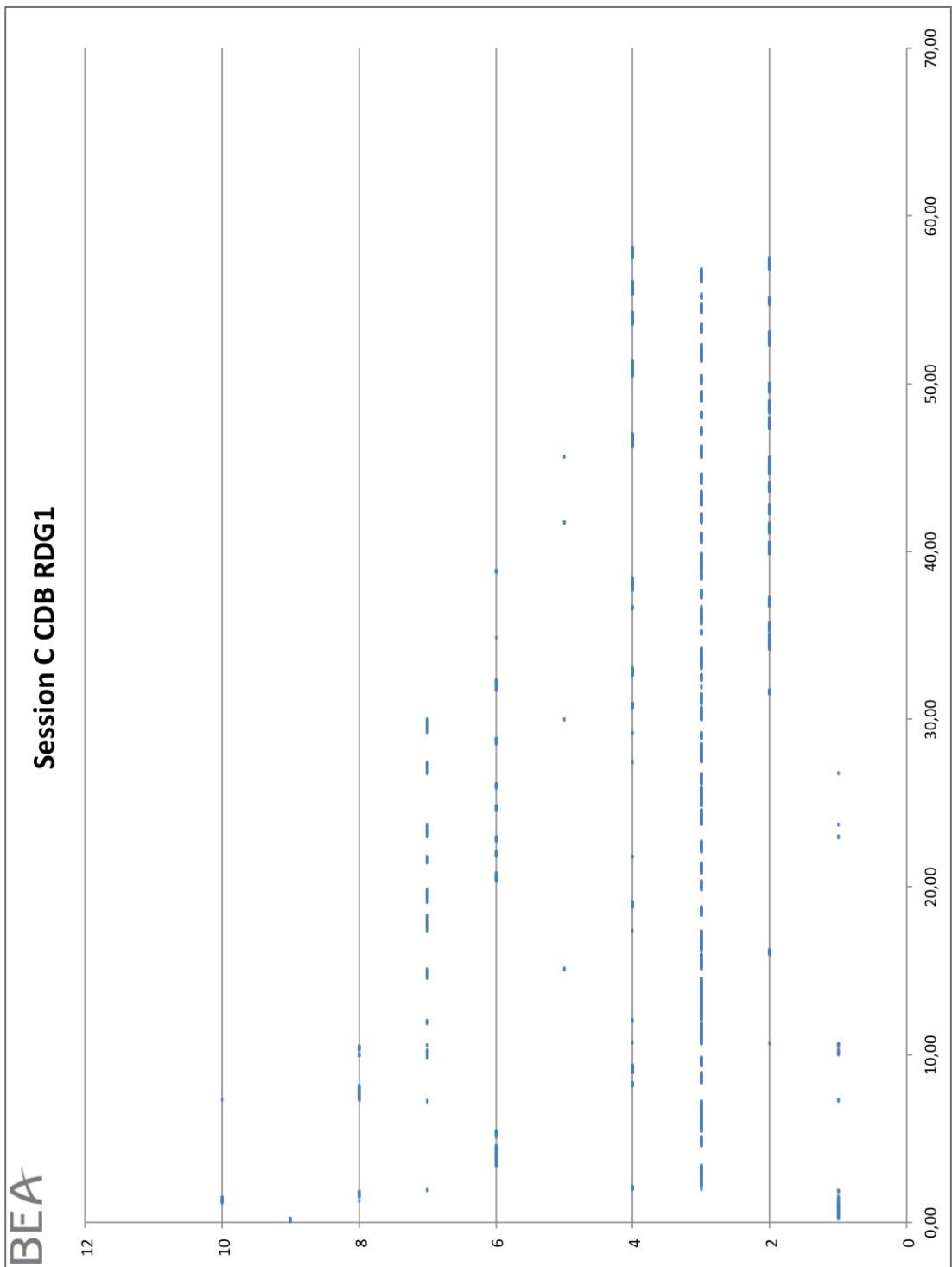


Figure 35 : temps passé par ZI pour la remise de gaz 1

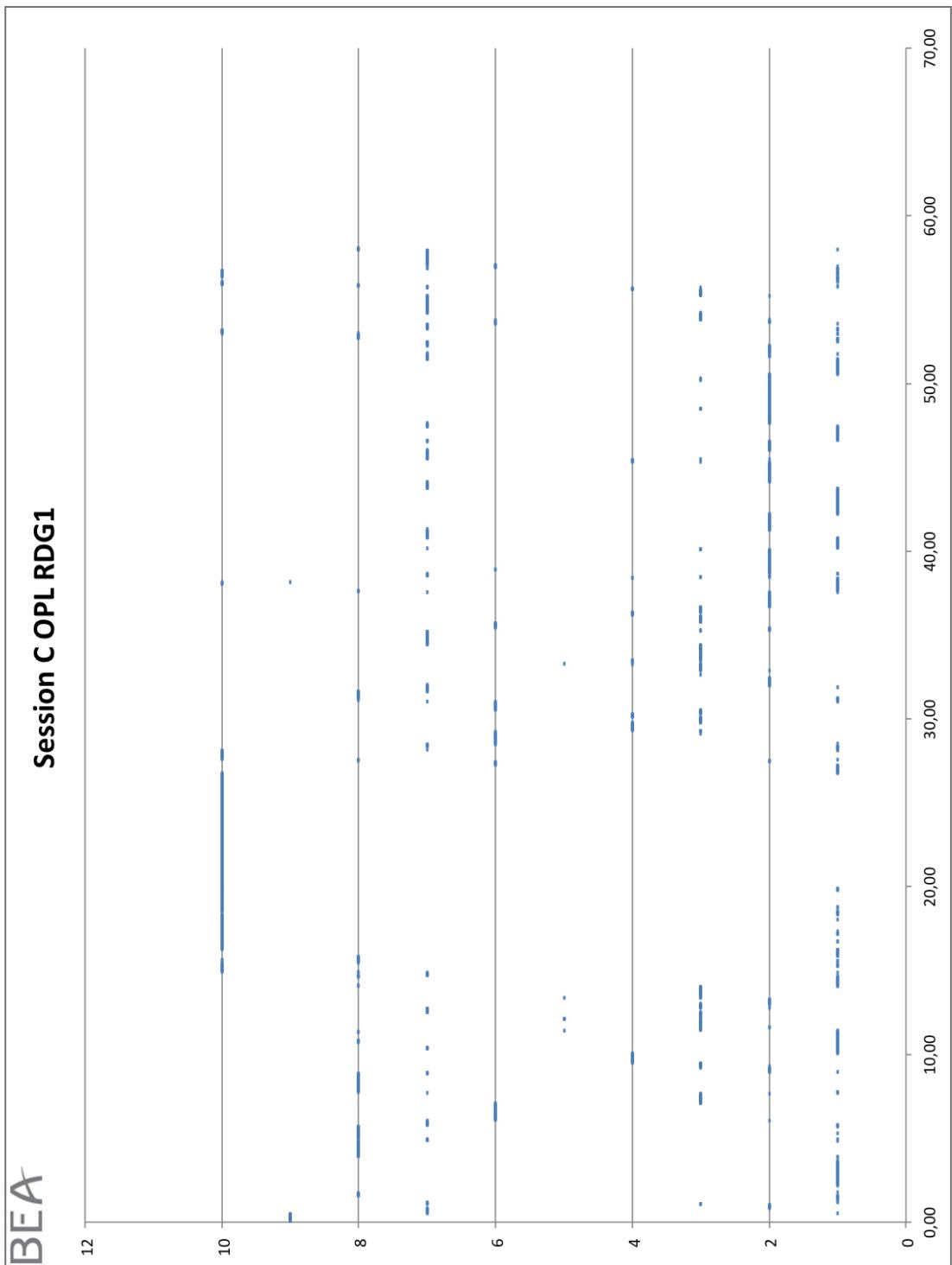


Figure 36 : temps passé par ZI pour la remise de gaz 1

Résultats

Une analyse au cas par cas a été réalisée afin d'extraire des comportements oculaires remarquables. Les pourcentages de temps passé sur chaque ZI ne sont pas commentés dans cette partie.

Le tableau ci-dessous regroupe les observations faites par session et par pilote à l'aide de ces visualisations lors de la RdG1.

Session	PF	PNF
A	FMA plutôt observé au début. Cap observé après 40 s - échappée en cap. Balayage HORIZON, VITESSE et ALT/VARIO dominant.	Longue fixation du FCU (> 10 s) ND fréquemment suivi entre 34 et 58 s.
B	Balayage HORIZON, VITESSE et ALT/VARIO dominant (sans interruption entre 25 et 55 s).	Très diffus. ALT/VARIO peu observés jusqu'à 25 s.
C	ND fréquemment observé jusqu'à 30 s. VITESSE peu observée avant 30 s / 40 s.	Longue fixation du FCU (> 12 s). Altitude et vitesse peu regardées au début jusqu'au changement de configuration.
D	ND fréquemment observé de 10 à 20 s. ALT/VARIO peu observés avant 10 s. VITESSE peu observée avant 25 s.	Longues fixations du FCU avant 20 s. Diffus après 20 s. Longues fixations (> 1 s) de la VITESSE après 30 s.
E	VITESSE peu observée avant 30 s. Peu de fixations du FMA.	VITESSE peu observée avant 30 s. ALT/VARIO peu observés avant 23 s. Longues fixations (> 1 s) du FMA avant 40 s.
F	Longues fixations (> 5 s) de la ZI HORIZON avant 10 s. ALT/VARIO peu observés avant 10 s. VITESSE peu observée. HDG fréquemment observé entre 21 et 32 s.	PAS DE DONNEES.
G	VITESSE peu observée avant 37 s. HORIZON et FMA les plus regardés dans l'ensemble.	Longue fixation du FCU (> 8 s). Fixations ND fréquentes avant 24 et après 49 s. HORIZON beaucoup regardé.
H	Longues fixations (> 5 s) de la ZI HORIZON avant 20 s. Vitesse peu observée avant 30 s.	Longue fixation du FCU (> 8 / 6 s). ND fréquemment observé avant 22 et après 43 s.
I	Longues fixations (> 1 s) du FMA. FCU observé fréquemment. VITESSE peu observée entre 30 et 50 s.	ALT/VARIO peu observés avant 40 s.
J	Longues fixations (> 5 s) de la ZI HORIZON, surtout avant 12 s. VITESSE peu observée avant 30 s. Peu de fixations du FMA.	ALT/VARIO peu observés avant 30 s. FMA peu observé avant 30 s. Longues fixations du FCU avant 30 s.
K	Longues fixations (> 5 s) de la ZI HORIZON avant 20 s.	Longue fixation du FCU (9 s). Peu de fixations de la ZI ALT/VARIO. Peu de fixations du FMA. Vitesse dans un second tps.

Synthèse des comportements oculaires observés lors des sessions de RdG

Plusieurs tendances sont identifiées à l'aide de ces observations :

- longues fixations du FCU par le PNF ;
- longues fixations du PF sur la ZI HORIZON au début de la RdG (20 premières secondes).

4.3.3 Synthèse

Le MCP/FCU est l'objet de longues fixations de la part du PNF. Ceci s'explique par les variations en cap et altitude demandées par l'ATC, par rapport à la trajectoire publiée et prévue. Toutefois, des temps de fixation supérieurs à dix secondes ont été mesurés et semblent être particulièrement longs dans la mesure où la sélection des modes et l'entrée des valeurs cibles sur le MCP/FCU se font au détriment de la surveillance de tous les autres paramètres.

Les longues fixations du PF sur la ZI HORIZON en début de RdG sont probablement liées à la tâche de pilotage (suivi des barres du FD). Certaines focalisations sur le FD de la part du PF semblent toutefois particulièrement longues (Session J).

Le début de la RdG est souvent associé à un faible nombre de fixations de la vitesse par le PF, et parfois par le PNF. Cela peut s'expliquer par le fait que la poussée étant très importante, la vitesse n'est pas considérée comme un souci immédiat.

Dans un second temps, la VITESSE est plus régulièrement observée et devient une ZI au moins autant regardée que la ZI ALT/VARIO sur l'ensemble de la RdG. Cette seconde phase semble correspondre à la rentrée des volets, après intégration de la clairance.

4.3.4 Eléments précurseurs de focalisation excessive

La capacité des pilotes à pouvoir porter leur attention sur les nombreuses informations dans le cockpit est un enjeu important.

Or, l'analyse d'accidents et de nombreuses publications scientifiques montrent que le stress opérationnel et la fatigue peuvent amener les pilotes à négliger des informations cruciales telles que des alarmes visuelles et sonores. Ce phénomène, appelé tunnélisation de l'attention, est défini comme « *l'allocation de l'attention vers une information particulière, l'enfermement dans une hypothèse ou la réalisation d'un but pour une durée trop longue au vu du coût de négliger d'autres informations, d'autres hypothèses ou de ne pas réaliser d'autres tâches* » (Wickens, 2005). Il semble que ce phénomène du rétrécissement de l'attention puisse s'appliquer à la phase de remise de gaz qui est souvent inattendue, incertaine et précipitée, et pouvant se produire après de longues heures de vol.

Ainsi, l'analyse des événements de type PARG, présentée en première partie de ce rapport, montre des éléments compatibles avec cette hypothèse (ex : incapacité des pilotes à détecter le non-engagement des automatismes de remise de gaz, absence de réactions à des alertes auditives...).

Lors des séances de simulateur, l'analyse de l'oculométrie a mis en évidence certains éléments précurseurs de focalisation excessive :

- Equipage 1, première remise de gaz. Lors de cette remise de gaz, le PNF/PM programme le cap 240° au lieu de 340° dans le MCP. Le PF suit le directeur de vol sur le mauvais cap pendant 11 s jusqu'à ce que le contrôleur rappelle l'équipage pour lui notifier son erreur. Le PF reconnaît immédiatement qu'il aurait dû piloter l'avion sur le plan latéral directement vers le cap 340 sans se servir du directeur de vol (« *j'aurais dû prendre le cap moi-même* »).

- Equipage 7, première remise de gaz. Durant cette remise de gaz, le PF se focalise pendant 22 s sur la trajectoire verticale pour capturer l'altitude cible, au détriment de la surveillance de la trajectoire horizontale dont l'avion s'écarte. Ainsi, l'analyse des données d'oculométrie révèle des allers-retours exclusifs entre l'altimètre, la barre horizontale du directeur de vol et le FMA. Ce type de fascination sur un axe au détriment d'un autre est connu en accidentologie et est à l'origine de plusieurs accidents ou incidents graves en phase d'approche (ex : accident d'un CRJ100 à Brest Guipavas le 22.06.2003, incident d'un MD83 à Nantes le 21.03.2004). Il est par ailleurs intéressant de constater que le PNF/PM ne détecte, ni ne prévient le PF, de l'écart de trajectoire latérale. Celui-ci est accaparé par la gestion de la configuration des volets et la gestion des vitesses, comme le traduit son comportement oculaire (allers-retours visuels exclusifs entre les volets et l'indicateur de vitesse). Ce n'est pas la seule remise de gaz dans les expérimentations où le PNF/PM se focalise de manière trop importante sur cette tâche au détriment de son rôle de « *monitoring* » en ne l'amenant pas à prévenir des écarts de trajectoire du PF. Les analyses statistiques renforcent ce constat puisque le pourcentage de temps passé par les PNF/PM à gérer les vitesses et la configuration dépasse les 40 %.
- Equipage 9, première remise de gaz. Dans cette remise de gaz, le PF prend l'autorité de régler les valeurs d'altitude et de cap au FCU. La focalisation du CdB pour régler cet instrument ne lui permet pas de voir sur son PFD que l'avion est en train de dépasser fortement l'altitude requise (i.e. 2 500 ft). L'impression d'un état de tunnélisation de l'attention du PF se dégage par son incapacité à anticiper ce dépassement d'altitude alors qu'il a pourtant longuement fixé l'altimètre avant de manipuler le FCU et que son copilote a annoncé cet écart (« *On passe 3 000 [ft]* »). Enfin, il ne semble pas percevoir la réversion de mode « *Open Climb vers Vertical Speed + 3 800 ft par minute* » affichée au FMA et visible également au FCU. Si l'alarme d'altitude lui fait prendre conscience du dépassement, il la laisse sonner dans le cockpit sans la couper, tout comme le PNF, pendant plus de 40 s. De plus, cette alarme ne l'incite pas à reprendre en main l'appareil ou à utiliser le mode de vitesse verticale pour descendre le plus rapidement et atteindre 2 500 ft.
- Equipage 10, première remise de gaz. Durant cette remise de gaz, le PF est concentré exclusivement sur le directeur de vol pendant 11 secondes. Il ne regarde jamais le FMA et ne constate pas que le mode « *Heading* » a été bien engagé par le PNF, ni la transition de mode en « *Navigation* ». Ceci le conduit à suivre le directeur de vol sur le plan latéral qu'il soit en mode « *Navigation* » (cap 330) ou en mode « *Heading* » (cap 340), alors même qu'il a annoncé que le cap à suivre était le 340.

4.4 Représentativité des simulateurs

Généralités

Les constructeurs de simulateurs conçoivent les simulateurs sur la base de données fournies par les constructeurs d'aéronefs et nommées *Data Package* (DP). Ces DP couvrent l'ensemble du domaine de vol connu de l'avion et sont élaborées à partir des données des essais en vol. Pour les principaux constructeurs d'aéronefs de transport public, les DP font l'objet de tests de qualification pour vérifier leur adéquation avec les données réelles de vol.

En général, tous les exploitants de simulateurs utilisent le même DP.

Qualification des simulateurs

L'Autorité qualifie les simulateurs et effectue :

- une vérification de conformité : démonstration approfondie de la cohérence entre les DP avec les données des essais en vol. Cette évaluation est objective ;
- une évaluation subjective par un pilote expert des qualités de manœuvrabilité et de représentativité.

Il faut noter que l'évaluation objective des simulateurs est prépondérante. En revanche, il existe une évaluation subjective notable qui est celle de la « *motion* » (déplacement/course/mouvements) du simulateur qui s'appuie sur un jugement de pilotes.

Chaque simulateur est qualifié individuellement (réglages uniques à chaque simulateur). Ainsi, pour un même type d'avion et dans une même compagnie, il est possible d'avoir des réglages différents. Les différences de réglages sont toutefois de moins en moins fréquentes.

Bases réglementaires

En Europe, la réglementation est issue du JAR-STD 1A : AEROPLANE FLIGHT SIMULATORS depuis le 1^{er} août 2008. Les travaux en cours visent à harmoniser les réglementations européennes et américaines. En pratique, celles-ci sont issues de la réglementation éditée par l'OACI au travers du DOC 9625 édition 2 et elles sont très proches en ce qui concerne les FFS.

Problématique Remise de Gaz et Simulateurs

Selon le sondage effectué par le BEA et les experts participant à l'étude, lors d'une remise de gaz réelle, l'accélération longitudinale conjuguée au couple cabreur des moteurs situés sous l'aile a pour conséquence une forte illusion de cabré.

Ces illusions somatograviques sont imparfaitement représentées dans les FFS.

Les exigences réglementaires concernant la simulation de la remise de gaz traitent principalement des écarts admissibles avec les données réelles de remise de gaz comme le montre l'exemple ci-dessous :

	TEST	TOLERANCE	FLIGHT CONDITION	Type I	Type II	Type III	Type IV	Type V	Type VI	Type VII	COMMENTS
2.e	(7) one-engine-inoperative go around	±3 kt airspeed ±1.5° pitch angle ±1.5° AOA ±2° roll angle ±2° side-slip angle	As per aeroplane performance data					✓		✓	Engine inoperative go-around required near maximum certificated landing mass with critical engine inoperative. Provide one test with autopilot (if applicable) and one without autopilot. CCA: Non-autopilot test to be conducted in non-

Extrait du Doc 9625 de l'OACI

Ces tests objectifs ne concernent pas le mouvement du simulateur (« *motion cues* »). De plus, aucune exigence ne demande au simulateur de simuler l'illusion somatogravique durant la remise de gaz.

Des tests des capacités de la plate-forme de mouvement du simulateur tels que la réponse en fréquence sont exigés pour la qualification du simulateur. Mais il n'existe aucun test de mouvement du simulateur relatif à des accélérations de vol. Des accéléromètres sont pourtant installés derrière le siège pilote dans les FFS qualifiés de niveau D.

Ainsi les accélérations ne sont pas mesurées dans le simulateur. Si elles ne sont pas comparées avec celles de l'avion, cela est aussi dû aux difficultés de définir des critères d'acceptabilité de représentativité du simulateur dans ce domaine.

Aucun standard objectif n'existe pour l'illusion somatogravique ; le principal constructeur de simulateur a indiqué que cet aspect a été étudié mais jamais mis en œuvre. Cependant, il semble possible d'optimiser les « *motion cues* » spécialement pour la remise de gaz. Cette optimisation devrait être exigée pour des manœuvres classées comme particulières.

Par ailleurs, et si le besoin en était exprimé, il est techniquement possible d'augmenter l'assiette simulée. De plus, il existe encore de la marge, lors d'une simulation de remise de gaz, entre l'attitude du simulateur et ses limites physiques. Selon le constructeur, l'assiette de la plateforme du simulateur oscille entre 10 et 15 degrés pour un maximum de 20 à 25 degrés. Le constructeur indique toutefois que des recherches et des analyses approfondies devraient être conduites afin de ne pas conduire à du « *negative training* ». L'impact sur la formation devrait être également évalué.

En conclusion, il existe une marge de progrès dans la simulation des illusions somatograviques. Cela devrait faire l'objet de recherches afin de mieux simuler les illusions et définir également des critères réglementaires de qualification des simulateurs.

Par ailleurs, certaines compagnies américaines incitent la FAA à autoriser la formation des pilotes sur des simulateurs FBS uniquement, pour des raisons de coûts. Au regard de la problématique des remises de gaz, cela semble inadapté pour cette phase de vol.

4.5 Illusions somatograviques

La désorientation spatiale représente l'incapacité pour l'être humain de percevoir correctement la position, l'attitude ou le mouvement par rapport à la surface terrestre et à la verticale gravitationnelle. En vol, elle peut prendre différentes formes, selon la phase de vol et la réaction des pilotes face à ce genre de situation. La désorientation spatiale résulte de lacunes d'interprétation et d'intégration des informations, parfois altérées dans certaines conditions, provenant des récepteurs sensoriels (yeux, appareil vestibulaire, récepteurs proprioceptifs principalement) par le système nerveux central qui fournit une perception de la situation. Les réponses à ces perceptions dépendent de la personnalité, de l'état physique et mental et de l'expérience de chaque personne. Elles sont limitées par les caractéristiques des tâches à réaliser par les pilotes ainsi que par l'environnement dans lequel ces tâches doivent être effectuées.

Illusions perceptives de type somatogravique

A la surface de la terre, l'homme est habitué à vivre dans le champ de pesanteur terrestre, toujours constant, qui représente une référence stable de verticalité. Au cours d'un vol, l'organisme est soumis, du fait des mouvements de l'avion, à des forces d'inertie et de pesanteur, qui se composent en une résultante gravito-inertielle équivalant à une variation en intensité et/ou direction du vecteur champ de pesanteur terrestre. Cet ensemble de forces peut modifier la perception de l'orientation du corps par rapport à la verticale gravitationnelle. Par exemple, une accélération de l'avion peut donner la même impression qu'une inclinaison arrière, autrement dit, une perception d'aéronef en montée. La référence de verticalité prise en compte par le système nerveux central du pilote n'est plus la force de gravité terrestre mais la force d'inertie gravitationnelle résultante, somme de la force de gravité terrestre et des forces d'inertie. L'illusion perceptive de type somatogravique entraîne donc une mauvaise perception de l'orientation du corps dans l'espace.

Dans des phases de remise de gaz ou de décollage dans des conditions de visibilité réduite, lors de l'accélération de l'avion, un pilote peut essayer de contrer sa perception de montée en piquant jusqu'à ce que le piqué contrebalance l'apparente inclinaison arrière causée par l'accélération, ce qui peut se terminer par un impact avec le sol. De plus, cette illusion de montée peut être renforcée par la présence d'un faux horizon visuel, comme un rivage, un chapelet de lumières avec l'océan ou un terrain non éclairé en arrière-plan, et la tendance du pilote à vouloir pousser sur la commande de profondeur devient irrépressible.

Les conditions nécessaires pour la survenue d'une illusion de type somatogravique sont décrites ci-dessous :

- références visuelles extérieures dégradées ;
- accélération linéaire subie suffisante entre le moment où le pilote commence à subir une accélération et le moment où il cesse de tirer sur le manche ;
- maintien de l'accélération pour que l'illusion persiste et que le pilote se sente toujours cabré malgré sa trajectoire réelle descendante ;
- absence de correction par le pilote par une prise d'information sur la position réelle de l'avion ; absence de surveillance des instruments primaires.

L'état d'éveil et l'expérience (formation et expériences réelles à la remise de gaz) peuvent constituer des facteurs favorisant la survenue de ce type d'illusion.

Modèle d'estimation de l'orientation perçue

Certains modèles existants permettent de calculer une estimation de l'orientation perçue par le pilote à partir des différentes accélérations. Ces modèles ne peuvent bien sûr pas prévoir la perception d'un pilote en particulier mais permettent une estimation de l'influence des forces d'inertie et des mouvements de rotation sur l'orientation perçue par un pilote en vol. L'estimation calculée par ces modèles suppose que les pilotes ne disposent d'aucune information visuelle extérieure, et qu'ils ne surveillent pas non plus attentivement leurs instruments, et en particulier l'horizon artificiel, pendant la phase de vol étudiée. C'est justement dans ces conditions que surviennent le plus souvent les désorientations spatiales.

Un modèle de simulation a été développé au BEA. Il est basé sur un modèle qui utilise une théorie d'estimation de l'orientation spatiale à partir de filtres ou d'estimateurs constants de gain des organes de l'appareil vestibulaire (Merfeld, 2001). Ce modèle utilise les données de l'enregistreur de vol à partir des caractéristiques physiques des organes de l'appareil vestibulaire (assimilés à trois accéléromètres et trois gyromètres).

Néanmoins, il n'est pas possible d'avoir des connaissances sur les mouvements de tête du pilote et l'influence des récepteurs proprioceptifs. L'estimation ne prend donc pas en compte ces paramètres. La tête du pilote est donc considérée comme fixe, et sa position correspond à une position solidaire avec le siège. Les différents axes des organes de l'appareil vestibulaire sont donc considérés parallèles aux axes de l'avion.

Résultats et Applications

Dans le cadre d'une enquête récente sur un accident majeur survenu à un aéronef lourd de transport public, le modèle d'estimation de l'orientation perçue a été utilisé avec des paramètres FDR. L'illustration ci-dessous montre qu'au moment de l'approche interrompue, l'assiette perçue par un pilote, à condition que sa perception repose exclusivement sur l'interprétation des entrées vestibulaires (sans référence visuelle extérieure et sans surveillance de l'horizon artificiel), est tout d'abord proche de l'assiette réelle. Elle diverge ensuite de l'assiette réelle à partir d'environ 11 degrés pour augmenter et rester comprise entre 15 et 22 degrés à cabrer. Des actions à piquer sont effectuées par le PF lors de la divergence entre l'assiette réelle (assiette avion) et l'assiette ressentie par le PF. La différence constatée entre l'assiette réelle et l'estimation de l'assiette perçue peut s'apparenter à la survenue d'une illusion perceptive de type somatogravique.

Le diagramme suivant présente l'assiette longitudinale de l'avion et celle perçue estimée par le modèle.

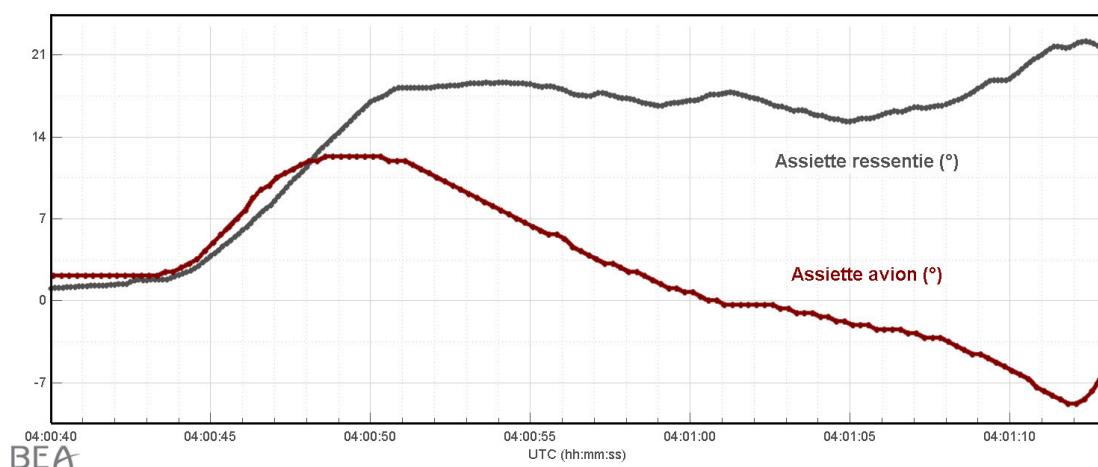


Figure 37 : assiettes longitudinales réelle et ressentie lors de l'approche interrompue

Lorsqu'une illusion somatogravique est présente, il existe donc une différence entre l'assiette ressentie et l'assiette réelle. Cette différence peut atteindre plus de 25 degrés.

Dans le cas ci-dessus, l'assiette ressentie est proche de celle de la remise de gaz alors que l'assiette réelle de l'avion est négative.

5 – AUTRES RENSEIGNEMENTS

5.1 Formation des équipages

Les différentes étapes de la formation des pilotes relatives à la remise des gaz ont été étudiées et des écarts par rapport à la méthode de gestion de l'assiette et de la puissance ont été constatés.

Trois phases ont été étudiées:

- Phase 1 : la formation initiale et avancée. Elle amène les élèves-pilotes à l'obtention de la licence de pilote professionnel. Ils peuvent prétendre, sous réserve de l'obtention du nombre minimum d'heures de vol, à intégrer une compagnie aérienne. De plus, la qualification de vol aux instruments ainsi que la MCC (*Multi Crew Cooperation*) y sont incluses. Deux écoles de pilotage FTO ont participé à cette phase.
- Phase 2 : la qualification de type. Elle est associée à la licence de pilote professionnel. Un constructeur et deux compagnies aériennes habilitées à délivrer des qualifications de type ont participé à cette phase. Il a ainsi été possible d'étudier la procédure de RdG sur deux familles d'avions : Airbus (famille A 320 et A 330/A 340) et Embraer (EMB145, 170, 190).
- Phase 3 : les entraînements, contrôles périodiques et le maintien des compétences programmés en compagnie. Un exploitant aérien a participé à cette phase. Cela a permis d'avoir une présentation de la remise de gaz sur deux familles d'avions : Airbus (A 320) et Boeing (B 777).

Du point de vue réglementaire, le programme de formation intégrée des pilotes de ligne est prévu à l'arrêté FCL 1.160 et 1.165⁽¹⁰⁾. Il fixe cinq étapes. Au cours de l'étape 1 (avant solo) en double commande (10 h) aucune mention de la remise de gaz n'est faite. Elle n'apparaît pas non plus dans la deuxième étape (avant solo en campagne).

Le FCL se concentre sur la formation au vol aux instruments. Le programme ne prévoit donc pas explicitement l'exécution de certaines manœuvres, dont la remise de gaz.

⁽¹⁰⁾La phase 1 ne prend pas en compte le PART FCL européen qui est mis en œuvre en France depuis avril 2013.

Phase 1 : Formation initiale et avancée jusqu'à la MCC

Formation CPL

Les écoles de formation consultées se conforment au programme réglementaire, même s'il leur paraît parfois chargé. Quelques disparités apparaissent dans la répartition des heures de vols et le stade de la progression auquel la RdG doit être abordée. Néanmoins, les principes de la manœuvre semblent bien enseignés, validés et vérifiés, notamment avant le vol solo.

Les pilotes stagiaires de ces écoles évoluent dans l'espace aérien d'une plateforme à forte activité. Ils ont donc l'occasion de réaliser des RdG, soit sur leur décision ou celle de l'instructeur, soit sur instruction de l'ATC.

L'une des écoles consultées évalue certains pilotes stagiaires sur la prise de décision de remise de gaz (à la demande de la compagnie).

On note par ailleurs que la remise de gaz dans toutes les situations est enseignée (basse énergie, haute énergie, rebond, arrondi trop haut, par exemple).

Au cours des autres phases dites solo, les pilotes stagiaires réalisent plusieurs navigations. Dans cette phase, il semblerait qu'ils aient perdu le bénéfice de leur formation initiale et soient moins à l'aise dans la prise de décision de RdG et dans l'exécution de la manœuvre.

Formation IFR Monomoteur

Dans cette phase, l'accent est mis sur la stabilisation de l'approche. Plusieurs RdG sont effectuées puisque les approches sont effectuées en simulant une absence d'acquisition des références visuelles aux minima. De manière générale, le pilote stagiaire anticipe davantage la séquence suivante. En monopilote, les clairances et les appels radio entraînent une plus grande dispersion des ressources : les remises de gaz sont un peu moins bien décidées et/ou réalisées (écart en cap, en assiette, par exemple).

Formation IFR Bimoteur

Dans cette phase, l'entraînement vise le test final qui demande une RdG avec un moteur en panne. L'exécution de la manœuvre est généralement bonne.

En conclusion, les principes de la remise de gaz sont bien enseignés et vérifiés par les instructeurs au cours des formations CPL et IFR mono- et multimoteurs. Cependant, les stagiaires pilotes semblent considérer que les différentes phases de la formation intégrée (PPL, CPL, IR, Mono, BI) sont indépendantes. Selon les écoles de formation, cela conduit parfois à des « *oublis* » dans l'exécution de certaines manœuvres comme la remise de gaz. Les oubliers concernent parfois l'assiette de RdG.

La remise de gaz est un outil pour débuter une procédure d'approche interrompue ou d'atterrissement manqué. L'aspect « *mise en puissance* » de la procédure n'est jamais oublié. Ceci est probablement dû aux performances limitées des avions utilisés (moteurs à piston), sans communes mesures avec celles des avions exploités en ligne (turbines à hélices ou réacteurs).

Formation Multi Crew Cooperation (MCC)

Au cours de cette formation spécifique au travail en équipage, plusieurs types de remises de gaz sont réalisés (minima, ordre ATC, décision instructeur, incapacité PF). Plusieurs remises de gaz sont effectuées par vol.

Les simulateurs d'aéronefs utilisés sont variés : bimoteurs à piston (Piper PA 34), à turbine hélice mono-pilote (Beech 200), à turbine hélice multi-pilotes (ATR 42), et turboréacteurs (Airbus A 320).

La théorie demande au PNF/PM de surveiller la trajectoire (assiette - poussée installée mais pas la vitesse verticale).

Lorsque le simulateur représente un type d'avion monomoteur, il ne fournit pas au pilote en place droite l'ensemble des outils de pilotage et des informations nécessaires à une réelle surveillance de la trajectoire.

Phase 2 : Qualification de type

Trois Type Rating Training Organisation (TRTO) de nature différente ont été visités.

TRTO 1

Le premier TRTO est celui du constructeur. La qualification de type (QT) A320 y dure cinq semaines. Elle fournit aux pilotes stagiaires le maximum de connaissances techniques et opérationnelles nécessaires à l'utilisation de l'avion et de ses systèmes.

La RdG tous moteurs en fonctionnement apparaît comme un exercice parmi d'autres. Le cursus prévoit 13 RdG, dont 9 tous moteurs en fonctionnement et 4 avec un moteur en panne, en incluant celle réalisée lors du test en simulateur.

L'accent est mis sur les trois premiers items de la procédure FCOM : annonce Go-around – simultanément Pitch/TOGA – Flaps, vérification et annonce des modes au FMA.

La RdG est faite dans un environnement peu contraint (pas ou peu d'interaction avec l'ATC, pas de dysfonctionnements majeurs des systèmes, pas de trajectoires contraintes pour des raisons environnementales⁽¹¹⁾). Elle ne contient donc pas de surprise par rapport à la procédure publiée.

Les aspects désorientation spatiale et/ou illusions somatograviques ne sont pas abordés lors de cette formation, même si les équipages peuvent être issus de flottes moins performantes et donc moins sensibles au phénomène (turbopropulseur par exemple).

A la demande du BEA, le TRTO 1 a fourni un retour d'expérience de ses instructeurs. A la question : « *le stagiaire a-t-il éprouvé des difficultés ?* », 22 % des réponses étaient positives. Les raisons principales sont une familiarisation insuffisante avec la procédure et des difficultés de maniement de l'avion. Les conséquences peuvent être une prise d'assiette insuffisante, de la surcharge de travail, voire une désorientation spatiale. En revanche, dans 85 % des cas, la lecture du FMA était conforme aux SOP.

TRTO 2

Le deuxième TRTO visité est celui d'une compagnie régionale habilité à délivrer des qualifications de type sur Embraer (145, 170, 190). La partie théorique est réalisée au siège de la compagnie. La partie simulateur est réalisée chez Flight Safety, au Bourget. La phase complète dure deux mois et demi (AEL comprise). La durée est supérieure à celle définie par le constructeur, l'expérience de la compagnie montrant que les stagiaires n'ayant suivi que le programme constructeur avaient besoin de séances supplémentaires.

La compagnie applique strictement la procédure de remise de gaz du constructeur.

En dehors d'une adaptation des pilotes aux nouveaux systèmes de l'EMB170, la procédure et son application sont simples et ne posent aucun problème en exploitation.

Le programme de la QT prévoit dix séances de simulateur. Une remise de gaz, au moins, est réalisée à chaque séance. De plus, les pilotes ont la liberté de s'entraîner aux procédures sur un GFS (*Ground Flight Simulator*) et peuvent ainsi acquérir une bonne mécanisation des tâches.

⁽¹¹⁾Exemple : non survol d'une zone particulière, restriction d'altitude en raison de l'espace.

L'accent est mis sur l'annonce, l'affichage et la vérification au FMA des modes « GA - Track - GA ». Le FMA affiche une indication lors d'une RdG claire et lisible (pavés verts au FMA).

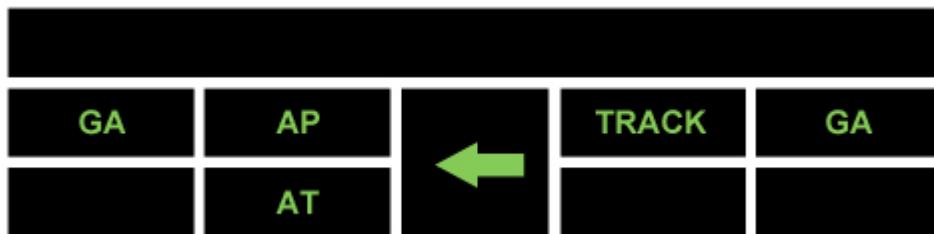


Figure 38 : mode FMA sur EMB170

Cet affichage conditionne la remise de gaz au PA. Si tel n'est pas le cas, le pilote doit déconnecter les automatismes et effectue une RdG manuelle (avec les éléments classiques assiette – poussée). Le « *bird* » fournit une information d'énergie et indique la trajectoire de montée avec une assiette qui est d'environ 15° en manuel. Comme en finale l'assiette est voisine de 5°, les risques d'illusions somatograviques sont donc limités.

Par ailleurs, le PNF/PM doit vérifier la poussée à l'EICAS, après la vérification du variomètre et la rentrée du train.

Pour mémoire, une remise de gaz avec un moteur en panne est réalisée lors du test.

Deux problèmes sont soulevés par le responsable de la formation :

- la procédure de remise de gaz n'est pas adaptée à la « *Haute Energie* » pour des raisons techniques avion (performances versus actions pilotes et limitation temporelle) ;⁽¹²⁾
- les altitudes de remise de gaz sont souvent trop basses au regard des performances de l'avion.

⁽¹²⁾Une remise de gaz Haute Energie est une remise effectuée à une altitude proche ou supérieure à celle de la RdG.

TRTO 3

Le troisième TRTO visité est celui d'une compagnie habilitée à délivrer des qualifications de type sur la flotte Airbus (A 318, A 319, A 320, A 321, A 330, A 340). La phase de QT A 320 dure huit semaines (à noter que la plupart des pilotes A 330/A 340, ont déjà la connaissance de l'Airbus).

Famille 320

Le nombre de remise de gaz est de treize dont quatre avec un moteur en panne.

Les remises de gaz sont enseignées en mode manuel afin d'acquérir une gestuelle. Progressivement, la connaissance des automatismes et les acquis de techniques de pilotage permettent une application optimale de la procédure.

Dans cette phase, l'accent est mis sur le rôle du PNF, notamment dans la surveillance de l'assiette.

Une information permanente est fournie aux équipages via le Livret d'Entraînement Formation et des messages de prévention.

Famille 330

Le programme de formation prévoit au moins 19 remises de gaz tous moteurs en fonctionnement, 5 avec un moteur en panne et 2 interruptions d'atterrissage. Tous les types de remise de gaz sont enseignés (Haute Energie, Basse Hauteur). Les stimuli conduisant à la remise de gaz sont variés (déstabilisation, panne instruments, pas de visuel aux minimas, windshear, ATC, etc). Dans cette phase, le souci est de respecter le programme imposé.

En conclusion, selon les trois TRTO et lors de la QT, la réalisation de la RdG est faite dans un environnement peu contraint (pas ou peu d'interaction avec l'ATC en raison du rôle joué par l'instructeur simulateur, pas de dysfonctionnements majeurs des systèmes, pas de trajectoires « écologiques »).

Les risques d'illusions somatograviques ne sont généralement pas abordés. En tout état de cause, les performances du simulateur et la trajectoire de l'avion ne permettent pas leur reproduction réaliste.

Il semble qu'il y ait une inadéquation entre les performances des avions modernes et la RdG haute énergie.

Les altitudes de stabilisation en remise de gaz sont souvent trop basses au regard des performances de l'avion.

Qualification de type et vol hors ligne

Le paragraphe FCL 725 (sous-partie H du PART FCL relative à la qualification de classe et de type⁽¹³⁾) établit des exigences pour la délivrance de qualifications de classe et de type.

En particulier, l'article c) indique qu'un candidat à une qualification de classe ou de type devra être reçu à un examen pratique afin de démontrer l'aptitude requise pour exploiter la classe ou le type d'aéronef applicable, en toute sécurité.

L'appendice 9 précise les exigences de ce test pratique. Il indique que « *lorsque le cours de qualification de type a inclus moins de 2 heures de formation en vol sur l'aéronef, l'examen pratique peut être accompli dans un FFS et peut être terminé avant la formation en vol sur l'aéronef. Dans ce cas, un certificat attestant le suivi du cours de qualification de type reprenant la formation en vol sur l'aéronef sera envoyé à l'autorité compétente avant que la nouvelle qualification de type soit consignée sur la licence du candidat* ».

Cette exigence existait déjà dans le JAR-FCL 1 et l'arrêté français FCL-1

Par ailleurs, il est précisé dans le paragraphe FCL 730.A du PART FCL qu'il est possible pour une école de proposer un programme ZFTT (Zero Flight Time Training) pour laquelle aucun vol sur avion réel n'est exigé. Cependant, un pilote qui suit une instruction dans un cours ZFTT devra avoir une certaine expérience pratique au préalable sur un avion multipilote à turboréacteurs, certifié selon les normes du CS-25 ou sur un avion multipilote à turbopropulseurs dont la masse maximale certifiée au décollage est d'au moins 10 tonnes ou dispose d'une configuration approuvée en sièges passagers supérieure à 19 sièges.

L'EU-OPS impose cependant un délai maximum de 21 jours entre la fin de la QT et le début de l'adaptation en ligne (AEL).

⁽¹³⁾PART-FCL
(Commission Regulation
1178/2011 –
Annex 1) : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:311:0001:0193:EN:PDF>
AMC et GM à la
PART FCL : <https://easa.europa.eu/agency-measures/docs/agency-decisions/2011/2011-016-R/AMC%20and%20GM%20to%20Part-FCL.pdf>

Par ailleurs l'AMC du PART ORA (*Organisation Requirement for Air crew*) au paragraphe AMC2 ORA.ATO.125 *Training Programme -(k) Aeroplane training with FFS* exige que :

(1) with the exception of courses approved for ZFTT, certain training exercises normally involving take-off and landing in various configurations should be completed in the aeroplane rather than an FFS. For MPAs where the student pilot has more than 500 hours of MPA experience in aeroplanes of similar size and performance, these should include at least four landings of which at least one should be a full-stop landing, unless otherwise specified in the OSD established in accordance with Regulation (EC) 1702/2003, when available. In all other cases the student should complete at least six landings. This aeroplane training may be completed after the student pilot has completed the FSTD training and has successfully undertaken the type rating skill test, provided it does not exceed 2 hours of the flight training course.

En résumé, un vol hors ligne est obligatoire à l'issue du test sur simulateur. Le programme de ce vol est libre et la remise de gaz n'est pas imposée. Seuls quatre ou six atterrissages doivent être effectués.

Lorsque la formation est effectuée selon le programme ZFTT, le vol hors ligne n'est pas obligatoire mais des conditions d'expérience sont demandées.

En revanche, la FAA a indiqué au BEA qu'il était possible, aux Etats-Unis, de transporter des passagers sans avoir effectué de vols hors ligne après avoir obtenu sa qualification de type au simulateur.

Phase 3 : entraînements et contrôles périodiques

Les entraînements et contrôles périodiques sont des exigences réglementaires (UE OPS 1.965). Les programmes d'entraînement sont établis par les exploitants de façon à ce que toutes les défaillances majeures des systèmes avion ainsi que les procédures associées aient été couvertes sur une période de trois ans. Le minimum réglementaire, déjà très consommateur en ressources, est malgré tout étendu pour les TRTO visités en ce qui concerne la remise de gaz. Ainsi, une ou plusieurs manœuvres, avec scénario adapté, est réalisée.

Le programme (2011) de l'une des compagnies françaises visitées a prévu, pour les pilotes de la « famille A 320 » une campagne de RdG qui doit être le développement d'une stratégie individuelle.

Ce programme inclut une RdG supplémentaire avec un moteur en panne et une RdG haute énergie.

Pour les pilotes de la « famille A 330 » le programme annuel inclut une mission LOFT, avec deux scénarios. Cependant, le nombre insuffisant de scénarios annihile l'effet de surprise après l'exécution de quelques séances (communication entre pilotes).

Les instructeurs ont constaté que la procédure de remise de gaz, effectuée en mode manuel, était réalisée en appliquant strictement la même procédure que celle exécutée lors d'une RdG en mode automatique : TOGA, action à cabrer. Il est parfois constaté une prise d'assiette insuffisante (entre 5 et 10° d'assiette), voire pas de prise d'assiette du tout, ce qui a pour conséquence une accélération sur trajectoire et un rapprochement rapide des vitesses limites.

En adaptation en ligne, il est demandé aux commandants de bord-instructeurs de faire réaliser une remise de gaz aux jeunes copilotes.

Par ailleurs, en exploitation en ligne, le nombre de RdG pour un pilote court/moyen courrier ou long courrier est faible. Pour Air France, il est environ d'une par an sur court et moyen courrier, et d'une tous les cinq à dix ans sur long courrier.

Synthèse

Au cours de sa formation, le pilote peut être confronté aux réalités suivantes :

- de moins en moins de procédures de RdG réelles en avion sont effectuées ;
- la finalité d'une RdG peut être assimilée à l'application d'une nouvelle procédure plutôt qu'à la nécessité de s'éloigner du sol rapidement et en sécurité ;
- le principe primaire de gestion « *assiette/poussée* » peut s'oublier au fur et à mesure de la progression dans les formations successives ;
- la formation en équipage MCC peut s'effectuer sur des avions dont les performances sont éloignées de celles des aéronefs modernes ;
- les illusions somatograviques ne sont pas systématiquement enseignées. Elles ne sont pas reproduites ;
- un vol hors ligne n'est pas obligatoire. Lorsqu'il est effectué, une remise de gaz n'est pas obligatoire ;
- la RdG est souvent effectuée avec un moteur en panne après la QT ;
- la remise de gaz n'introduit pas de scénario comportant un élément perturbateur ou une surprise.

5.2 Procédures de remise de gaz éditées par les exploitants et les constructeurs

Les exploitants utilisent des procédures qui peuvent différer de celle du constructeur car ils ont la possibilité de les adapter à leur flotte et leur culture. Les procédures constructeurs et exploitants sont présentées ci-dessous.

5.2.1 Procédures des constructeurs

D'une manière générale, une procédure de remise de gaz consiste à :

- annoncer la remise de gaz et annoncer la rentrée des volets d'un cran ;
- enclencher (et vérifier) le mode de remise de gaz ;
- afficher une assiette et une poussée initialement sans y revenir de manière régulière ensuite ;
- rentrer un cran de volet puis le train ;
- surveiller les écarts avec annonces associées et stabiliser la trajectoire à l'aide notamment du FD ;
- finir la rentrée des traînées ;
- effectuer la check-list après décollage.

Les procédures de RdG constructeur sur B 777, A 330 et EMB 170 sont présentées ci-après.

Go-Around and Missed Approach Procedure

Pilot Flying	Pilot Monitoring
At the same time: <ul style="list-style-type: none">• push the TO/GA switch• call "FLAPS 20"	Position the flap lever to 20.
Verify: <ul style="list-style-type: none">• the rotation to go-around attitude• that the thrust increases	
	Verify that the thrust is sufficient for the go-around or adjust as needed.
	Verify a positive rate of climb on the altimeter and call "POSITIVE RATE."
Verify a positive rate of climb on the altimeter and call "GEAR UP."	
	Set the landing gear lever to UP.
Limit bank angle to 15 degrees if airspeed is below minimum maneuver speed.	
Above 400 feet radio altitude, select or verify a roll mode.	Verify that the missed approach altitude is set.
Verify that the missed approach route is tracked.	
At acceleration height, set speed to the maneuver speed for the planned flap setting.	
Call "FLAPS ____" according to the flap retraction schedule.	Set the flap lever as directed.
After flap retraction to the planned flap setting, select FLCH or VNAV as needed.	
Verify that climb thrust is set.	
Verify that the missed approach altitude is captured.	
Pilot Flying	Pilot Monitoring
Call "AFTER TAKEOFF CHECKLIST."	Do the AFTER TAKEOFF checklist.

Procédure constructeur Airbus 330



STANDARD OPERATING PROCEDURES

3.03.23 P 1

GO AROUND

SEQ 001 REV 26

GO AROUND

Apply the following three actions simultaneously :

– **THRUST LEVERS** **TOGA**

– **ROTATION** **PERFORM**

- Rotate the aircraft to achieve a positive rate of climb, and establish the required pitch attitude, as directed by SRS pitch command bar.

– **GO AROUND** **ANNOUNCE**

Note : The MCDU PERF page automatically switches to the GO AROUND phase.

– **FLAPS** **RETRACT ONE STEP**

– **FMA** **CHECK AND ANNOUNCE**

Check the FMA on the PFD. The following modes are displayed : MAN TOGA/SRS/GA TRK/A/THR (in blue).

– **POSITIVE CLIMB** **ANNOUNCE**

– **LDG GEAR UP** **ORDER**

– **LDG GEAR** **SELECT UP**

R – **NAV or HDG mode** **AS RQRD**

Note : Go-around may be achieved with both AP engaged. Whenever any other mode engages AP 2 disengages.

● At go-around thrust reduction altitude (LVR CLB flashing on FMA) :

– **THRUST LEVERS** **CL**



STANDARD OPERATING PROCEDURES

3.03.23 P 2

GO AROUND

SEQ 001 REV 20

● At go-around acceleration altitude :

– Monitor that the target speed increases to green dot.

● If the target speed does not increase to green dot :

– **FCU ALT** **CHECK and PULL**

– Retract flaps on schedule.

Note : Consider the next step :

- Engage NAV mode, to follow the published missed approach procedure, or
- Prepare for a second approach by selecting the ACTIVATE APP PHASE, and CONFIRM on the PERF page.

GO-AROUND FROM AN INTERMEDIATE APPROACH ALTITUDE

To interrupt the approach, or to perform a go-around, from an intermediate altitude in the approach, and if TOGA thrust is not required, proceed as follows :

– **SET the thrust levers to TOGA detent, then retard the thrust levers as required.**
This enables to engage the GO AROUND phase, with associated AP/FD modes.

– **SELECT the applicable AP/FD and A/THR modes on the FCU.**

Note : If the thrust levers are not set briefly to TOGA detent, the FMS does not engage the GO AROUND phase, and flying over, or close to the airport (less than 7 NM) will sequence the Destination waypoint in the F-PLN.

Procédure constructeur Embraer

STANDARD OPERATING PROCEDURES		
NORMAL GO-AROUND - ACTIONS and CALLOUTS		
	PF	PNF
Go-around	<p>"GO-AROUND".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Press either TOGA buttons. • Verify or move thrust levers to TO/GA detent. • With the airspeed greater than V_{REF}. <p>"FLAPS__".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifies rotation or rotates towards GA initial pitch attitude (8°). 	<ul style="list-style-type: none"> • Verify GA annunciations. • Verify engine at go-around thrust. • Selects GA flaps.
Positive Rate of Climb	<ul style="list-style-type: none"> • Confirm positive rate of climb. <p>"GEAR UP".</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verify positive rate of climb. <p>"POSITIVE RATE".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Position gear lever up. • Selects V_{FS}. • Advises ATC.

STANDARD OPERATING PROCEDURES		
NORMAL GO-AROUND - ACTIONS and CALLOUTS		
	PF	PNF
Go-around	<p>"GO-AROUND".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Press either TOGA buttons. • Verify or move thrust levers to TO/GA detent. • With the airspeed greater than V_{REF}. <p>"FLAPS__".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifies rotation or rotates towards GA initial pitch attitude (8°). 	<ul style="list-style-type: none"> • Verify GA annunciations. • Verify engine at go-around thrust. • Selects GA flaps.
Positive Rate of Climb	<ul style="list-style-type: none"> • Confirm positive rate of climb. <p>"GEAR UP".</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verify positive rate of climb. <p>"POSITIVE RATE".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Position gear lever up. • Selects V_{FS}. • Advises ATC.

PROCEDURES AND TECHNIQUES APPROACH		STANDARD OPERATING PROCEDURES
NORMAL GO-AROUND - ACTIONS and CALLOUTS		
	PF	PNF
400 ft AGL	<p>"SELECT FMS AND HEADING (NAV)".</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Selects appropriate navigation primary source. • Selects Lateral Mode.
Acceleration Altitude	<p>"CLIMB SEQUENCE".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Executes published missed approach or proceed as instructed by ATC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selects FLCH. • Retracts flaps on schedule. • At flap zero calls: "FLAP ZERO". • Monitor missed approach procedures.

NOTE: Callouts are shown in bold text.

5.2.2 Exemple de procédures exploitant

Les procédures issues d'Air France (B 777 et A 330) et de XL Airways (A 330) sont présentées ci-dessous. La procédure utilisée par Corsair est celle du constructeur. Les procédures des compagnies peuvent différer de celle des constructeurs. Les pilotes doivent appliquer les procédures de leur compagnie.

Procédure exploitant XL Airways Airbus A330

NORMAL PROCEDURES STANDARD OPERATING PROCEDURES Go Around		PRN 02-02-23 Page 1 Rev 00 / 25th Mar 2008
GO AROUND		
(Reference FCOM 3.03.23)		
GO AROUND		
<ul style="list-style-type: none"> ● Apply the following three actions simultaneously : <ul style="list-style-type: none"> - THRUST LEVERS TOGA - ANNOUNCE < GO AROUND - FLAPS > - ROTATION PERFORM 		
<p>Rotate the aircraft to achieve a positive rate of climb, and establish the required pitch attitude, as directed by SRS pitch command bar.</p> <p>Check and announce FMA : TOGA, SRS, GA TRK.</p>		
<p>NOTE <i>The MCDU PERF page automatically switches to the GO AROUND phase.</i></p>		
<ul style="list-style-type: none"> - FLAPS RETRACT ONE STEP - ANNOUNCE < POSITIVE CLIMB > - ORDER < GEAR UP > - L/G UP SELECT - CONFIRM/ANNOUNCE < GEAR UP/FLAPS > 		
<p>NOTE <i>Consider retarding to CL detent, if TOGA thrust is not required.</i></p>		
<ul style="list-style-type: none"> - NAV or HDG mode SELECT 		
<p>NOTE <i>Go-around may be achieved with both AP engaged. Whenever any other mode engages AP 2 disengages.</i></p>		
<ul style="list-style-type: none"> ● At go-around thrust reduction altitude ("LVR CLB" flashing on FMA). <ul style="list-style-type: none"> - THRUST LEVERS CL 		
PRN 02-02-23 Page 2 Rev 00 / 25th Mar 2008	NORMAL PROCEDURES STANDARD OPERATING PROCEDURES Go Around	XL Airways France
<ul style="list-style-type: none"> ● At go-around acceleration altitude : <ul style="list-style-type: none"> - Monitor that the target speed increases to green dot. ● If the target speed does not increase to green dot : <ul style="list-style-type: none"> - FCU ALT CHECK and PULL - Retract flaps on schedule 		
<p>NOTE</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Consider the next step : <ul style="list-style-type: none"> - engage NAV mode, to follow the published missed approach procedure, or - prepare for a second approach by selecting the ACTIVATE APP PHASE and CONFIRM on the PERF page. 2. If a go-around must be performed for ATC reason, systematically fill a Captain Report with all possible details to allow the airlines to sue the relevant services. 		
GO AROUND FROM AN INTERMEDIATE APPROACH ALTITUDE		
<p>To interrupt the approach, or to perform a go-around, from an intermediate altitude in the approach, and if TOGA thrust is not required, proceed as follow :</p> <ul style="list-style-type: none"> - SET the thrust levers to TOGA detent, then retard the thrust levers as required. <p>This enables to engage the GO AROUND phase, with associated AP/FD modes.</p> <ul style="list-style-type: none"> - SELECT the applicable AP/FD and A/THR modes on the FCU. <p>NOTE</p> <p><i>If the thrust levers are not set briefly to TOGA detent, the FMS does not engage the GO AROUND phase and flying over, or close to the airport (less than 7 NM) will sequence the Destination waypoint in the F-PLN.</i></p>		

Procédure exploitant Air France Boeing 777

REMISE DE GAZ 2 GTR

La procédure suivante est adaptée à l'utilisation du **pilote automatique**.

En cas de remise de gaz en pilotage manuel le PF demande les sélections et affichages au MCP, le PNF effectue au MCP les sélections et affichages demandés par le PF.

Pendant toute la manoeuvre les pilotes vérifient le suivi de la trajectoire et l'interception de l'altitude de RdG.

PF	PNF
La procédure remise de gaz 2 GTR s'effectue volets 20°.	
"REMISE DE GAZ"	Annoncée
Simultanément : Poussoir(s) TO-GA	Appuyé(s)
<i>Cette action initialise la prise d'assiette et l'affichage de la poussée automatiquement.</i>	
"VOLETS 20"	Commandé
Assiette de remise de gaz	Vérifiée
Poussée de remise de gaz	Vérifiée
NOTE : En cas de remise de gaz en pilotage manuel : <ul style="list-style-type: none"> ◦ effectuer la rotation manuellement vers l'assiette de remise de gaz, ◦ sélectionner et vérifier l'application de la poussée de remise de gaz. 	
	Vérifie un vario positif à l'altimètre : "VARIO POSITIF" Annoncé
Vérifie un vario positif à l'altimètre : "TRAIN SUR RENTRÉ" Commandé	
Manette de train	UP
Au-dessus de 400 ft AAL : Sélectionner ou vérifier le mode de guidage latéral.	Vérifier que l'altitude de remise de gaz est affichée au MCP.

1 / 2 - 777 TU - REMISE DE GAZ 2 GTR

777 TU (11/02/10)

À l'altitude d'accélération : Afficher la vitesse d'évolution pour le cran de volets prévu.	
"VOLETS" suivant la séquence de rentrée des volets Commandé	Levier FLAP Comme demandé
Volets rentrés au cran prévu : Sélectionner FLCH ou VNAV comme nécessaire.	
Poussée de montée (CLB à l'EICAS) Appeler la check-list "AFTER TAKEOFF"	Vérifiée Effectuer la check-list "AFTER TAKEOFF"

- Les annonces techniques pendant la remise de gaz doivent être faites conformément aux consignes du GEN-OPS.
- L'alarme "DON'T SINK" de l'EGPWS retentit en cas de perte d'altitude pendant la remise de gaz. Elle persiste tant qu'un vario positif n'est pas rétabli.
- Sur les avions équipés de l'engagement automatique du LNAV en remise de gaz, si la procédure de remise de gaz est disponible au FMS :
 - en pilotage automatique, armement du LNAV puis engagement à 200 ft RA,
 - en pilotage manuel, armement du LNAV puis

Procédure exploitant Air France Airbus A330

REMISE DE GAZ

C-P	"REMISE DE GAZ"	ANNONCEE									
PF	<i>Conformément au manuel GEN.OPS.</i>										
PF	MANETTES DE POUSSEE	TOGA									
	<i>Les modes MAN TOGA, SRS et GA TRACK s'engagent. Les manettes de poussée peuvent être placées ensuite dans le cran CL si TOGA n'est pas nécessaire pour le gain d'altitude.</i>										
PF	ASSIETTE	12,5° (A340) ou 15° (A330) puis SRS									
	<i>En pilotage automatique, l'AP suit le mode SRS. En pilotage manuel, le PF affiche l'assiette et applique initialement la poussée TOGA puis suit la barre de tendance horizontale si disponible. En cas de panne d'un réacteur, le PF affiche une assiette initiale de 12,5° (A340 et A330).</i>										
PF	"VOLETS X"	ANNONCES									
PNF	VOLETS	X									
PNF	TRAIN	RENTRE									
	<i>Annonce "VARIO POSITIF" lorsque le vario se stabilise à une valeur positive et sur ordre du PF place la manette de train sur UP.</i>										
PNF	ECARTS	ANNONCES									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th><th style="text-align: center;"><i>Seuil</i></th><th style="text-align: center;"><i>Announce</i></th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Assiette longitudinale</td><td style="text-align: center;">>20° ou <10°</td><td style="text-align: center;">"Assiette"</td></tr> <tr> <td>Vitesse</td><td style="text-align: center;">< Vapp - 5 kt</td><td style="text-align: center;">"Vitesse"</td></tr> </tbody> </table>			<i>Seuil</i>	<i>Announce</i>	Assiette longitudinale	>20° ou <10°	"Assiette"	Vitesse	< Vapp - 5 kt	"Vitesse"
	<i>Seuil</i>	<i>Announce</i>									
Assiette longitudinale	>20° ou <10°	"Assiette"									
Vitesse	< Vapp - 5 kt	"Vitesse"									
PF	NAV	ENGAGE									
	<i>L'engagement du mode NAV le plus tôt possible permet de réduire le risque de séquençement F-PLN erroné engendrant des guidages AP/FD avec un virage en sens inversé. De plus, après une approche RNAV (GNSS), le mode NAV garantit le maintien dans l'aire de protection de la remise de gaz.</i>										
PNF	ATC	INFORME									
PNF	MANETTES DE POUSSEE	CLIMB									
PF	<i>Placer les manettes de poussée dans le cran CL, à l'altitude de réduction de poussée.</i>										
PNF	VOLETS	RENTRES									
PNF	-A la vitesse F, les volets sont rentrés à 1. -A la vitesse S, les volets sont rentrés à 0.										
	EXT LT : RWY TURN OFF et NOSE	OFF									
PNF	GND SPLRS	DESARMES									
PNF	ENG START	NORM ou IGN									
PNF											
1 / 2 - A330/340 TU VOL 1 - REMISE DE GAZ											
A330/340 TU VOL 1 (23/09/10)											
 <i>Mettre le sélecteur sur IGN si de fortes turbulences ou de fortes pluies sont rencontrées.</i>											
C-P	MEMO	VERIFIE									
	<i>En cas de remise de gaz, si l'avion ne remonte pas au-dessus de 2200 ft, le Memo LDG ne s'affichera qu'à 800 ft RA.</i>										
	<i><u>NOTE</u> : Après l'exécution de la remise de gaz, effectuer la check-list "Après décollage".</i>										
//FIN											

5.3 Service de la navigation aérienne, contrôle et procédure d'approche interrompue

Le BEA a consulté l'Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (AES) dont les nouvelles prérogatives prennent en charge les aspects ATC. Bien qu'aujourd'hui, les responsabilités de l'Agence et d'Eurocontrol ne soient pas clairement définies, l'AES devra harmoniser les procédures et réglementation du contrôle aérien en Europe. A ce jour, ces procédures sont définies nationalement en conformité avec les PANS-OPS de l'OACI.

Les contrôleurs peuvent s'écartez de la procédure de RdG publiée en délivrant des autorisations en cap et/ou altitude afin d'assurer en sécurité l'écoulement du trafic le plus régulier possible.

Les études de cas (chapitre 2), les sondages (chapitre 3) et les simulations (chapitre 4), ont cependant montré que l'environnement ATC peut perturber des équipages en RdG.

Plusieurs facteurs ont été identifiés :

- l'effet de surprise - très perturbateur pour les équipages - entraînant une charge de travail élevée, notamment lorsque la trajectoire imposée par l'ATC n'est pas celle de la procédure publiée ;
- la construction des procédures de RdG lorsque l'altitude de stabilisation de RdG est faible. Ce facteur est lié à l'incompatibilité grandissante entre les performances des avions modernes et les faibles gains d'altitude ;
- les radiocommunications pendant la RdG qui surchargent le PNF.

L'AESA a indiqué au BEA que les éventuels amendements aux procédures devaient être examinés au niveau de l'OACI :

The potential recommendation for a standard missed approach procedures (runway heading, 3000ft) for all runways' (unless geographical constraints exist) should be carefully evaluated, especially in consideration of other airspace design constraints (SIDs, STARs, other runways, airspace reservations, etc). Such a recommendation should be addressed at ICAO level considering amendment of PANS-OPS. The same is valid also for the recommendation for reduced communication during the missed approach.

Procédure ATC au niveau de l'OACI

La documentation de référence (OACI PANS OPS issues des DOC 4444 et 8168) stipule :

- « *Au cours d'une approche manquée, le pilote est confronté à plusieurs tâches comme changer la configuration de l'avion, son attitude et son altitude. C'est pourquoi les trajectoires d'approche manquées ont été conservées aussi simples que possible et comportent trois phases (initiale, intermédiaire, finale). Elle a un début et une fin caractérisée par une altitude/hauteur suffisante. »* ;
- « *Une seule procédure d'approche manquée est établie pour chaque procédure d'approche. »* ;

- « La procédure d'approche manquée ne devrait pas être initialisée en dessous de la hauteur/altitude de décision. Si la procédure est engagée avant le point d'approche manquée, le pilote doit normalement poursuivre jusqu'au MAPt ou au Middle marker ou à la distance DME spécifiée et ensuite suivre la procédure d'approche manquée. »;
- « En dehors de raison de sécurité, aucune transmission ne doit être faite à l'avion en cours de décollage, partie finale de la procédure d'approche et de roulement à l'atterrissement. ».

Les PANS OPS ATM indiquent en plus dans la phraséologie d'approche interrompue et dans le document OACI Doc 9432-AN/925 4.8 remise de gaz que :

- « Les instructions relatives à l'exécution d'une procédure d'approche interrompue peuvent être données pour parer à une situation dangereuse. »;
- « Lorsqu'une procédure d'approche interrompue est amorcée, la charge de travail dans le poste de pilotage est inévitablement très lourde. Toute transmission à un avion qui remet les gaz devrait être la plus brève et la plus concise possible. »;
- « Sauf instruction contraire, un avion effectuant une approche interrompue aux instruments exécutera la procédure d'approche interrompue et un avion en VFR continuera à suivre le circuit normal d'aérodrome. ».

La construction des procédures d'approche interrompue ne prend pas en compte les performances réelles des avions modernes.

Construction des procédures d'approche interrompue

L'approche interrompue peut être définie, soit en ligne droite, soit avec un virage prescrit en un point de repère, ou à une altitude sans qu'une norme ne privilégie une des méthodes de construction.

Approche interrompue en ligne droite

L'approche interrompue est considérée en ligne droite lorsqu'elle se fait selon la même route magnétique que celle de l'approche finale et lorsqu'aucun virage n'est prescrit avant que l'aéronef ait atteint une altitude de sécurité.

Approche interrompue avec point de virage spécifié

Un virage doit être exécuté, quelque soit l'altitude atteinte au point de virage (TP) spécifié sur la carte d'approche. Le virage ne doit être débuté ni avant ni après ce point.

Approche interrompue avec virage à une altitude spécifiée

Une altitude est spécifiée pour le virage de retour vers le repère d'attente.

Le virage ne doit être débuté ni en dessous, ni au-dessus de cette altitude ; toutefois, dans certains cas, il est précisé de ne pas tourner avant un repère.

Hauteur minimale d'accélération en palier

En cas de panne d'un moteur, certains avions peuvent avoir à effectuer un palier d'accélération avant de poursuivre la montée. Une hauteur minimale d'accélération en palier est normalement calculée, en tenant compte des obstacles.

Lorsqu'aucune mention particulière n'est portée sur la carte, cela signifie qu'aucune possibilité d'effectuer un palier n'a été étudiée.

Dans le cas d'une approche interrompue avec virage à une altitude/hauteur, la hauteur minimale d'accélération publiée est au moins égale à la hauteur du virage.

L'altitude/hauteur minimale d'accélération en approche interrompue, publiée sur la carte d'approche aux instruments ne constitue qu'une information. Un exploitant peut réaliser sa propre étude en tenant compte des caractéristiques particulières d'un aéronef et appliquer une valeur différente de celle publiée.

Télécommunications pendant une remise de gaz

L'Annexe 10 de l'OACI ne prévoit pas de dispositions particulières exigeant le silence du contrôleur pendant qu'un équipage effectue une remise de gaz.

En revanche des dispositions en ce sens sont prévues pour le décollage et la finale notamment. En effet le paragraphe 5.2.1.7.3.1.1 de l'Annexe 10 stipule que :

« Sauf pour des raisons de sécurité, aucune transmission ne sera adressée à un aéronef lors du décollage, de la dernière partie de l'approche finale, ou lors du roulement à l'atterrissement. »

5.4 Aspects réglementaires relatifs à la contrôlabilité à basse vitesse en RdG

La problématique que constitue une position excessive du trim à cabrer, à basse vitesse et à pleine poussée n'est pas aujourd'hui clairement traitée dans les règlements de certification.

La réglementation et en particulier le paragraphe CS 25.1329 (h) s'intéresse principalement aux protections et réponses du système de guidage du vol (FGS) basse vitesse. Les paragraphes relatifs à des positions hors-trim ne répondent pas non plus à la problématique.

Dans certaines configurations avion (notamment centrage avant à masse élevée), une position du trim proche de la butée à cabrer est possible. Les constructeurs d'aéronefs n'ont donc pas prévu d'alarmes particulières lorsque le trim est proche d'une butée.

Dans les cas d'événements de type PARG pour lesquels une perte de contrôle liée à une position du trim proche de la butée à cabrer a été mise en évidence, l'avion était toujours contrôlable au moment de l'application de la pleine poussée. Cependant, au fur et à mesure de l'augmentation de la poussée, l'assiette et l'incidence ont atteint des valeurs hors normes. De rares équipages ont réussi à récupérer le contrôle de l'aéronef en diminuant la poussée, puis en modifiant la position du trim.

Les constructeurs ont récemment modifié la procédure « *upset recovery* » dans ce sens.

Aujourd'hui, la position du trim n'est quasiment plus surveillée par les équipages, en particulier lors d'une RdG.

5.5 Vent arrière en approche et en finale

Informations de vent disponibles

Airbus A 330

Le vent est calculé dans chacun des 3 ADIRU par différence entre le vecteur vitesse sol (calculé par la centrale à inertie) et le vecteur vitesse air (calculé par la centrale anémométrique en tenant compte d'un dérapage nul).

Le vent est représenté sur les écrans de navigation (ND) des deux pilotes, en haut à gauche, par une flèche accompagnée de valeurs numériques sous la forme DDD/VV (où DDD est la direction du vent en degrés magnétiques et VV la vitesse en noeuds).

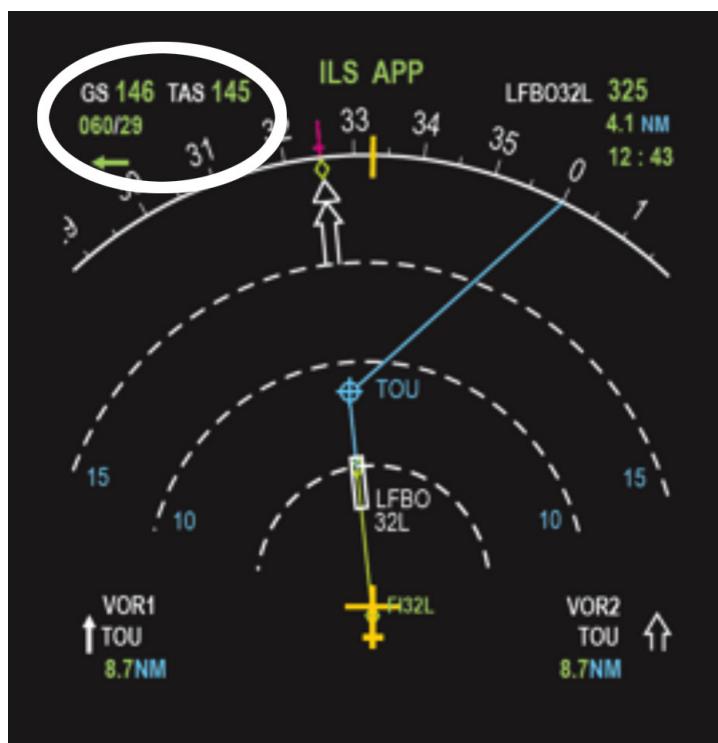


Figure 39 : exemple d'écran ND sur A 330

En fonctionnement normal, le vent présenté sur le ND de gauche est le vent calculé par l'ADIRU 1 et sur le ND de droite, celui calculé par l'ADIRU 2.

Les imprécisions de calcul de la vitesse sol rendent la précision du vent calculé assez médiocre : sans erreur sur la vitesse air, autour de 8 à 9 kt en vitesse et de 10° en direction, pour un vent réel d'au moins 50 kt. Cependant aucune indication sur sa précision ne figure dans le manuel de vol ou le FCOM. Sur A 380, le vent est de meilleure précision lorsque l'information GPS est disponible : de l'ordre de quelques degrés en direction et avec une erreur de moins de 5 kt.

Boeing 777

Le vent est calculé de deux manières : par l'ADIRU et par le FMC. Dans l'ADIRU, le vecteur vent est calculé par différence entre le vecteur vitesse sol calculé par l'ADIRU et le vecteur vitesse air, considérant le dérapage et l'incidence nuls. Dans le FMC, le vecteur vitesse sol utilisé est le vecteur vitesse sol du FMC. Le dérapage est toujours considéré nul mais l'incidence est prise en compte dans le calcul.

Le vecteur vitesse sol du FMC est corrigé par l'utilisation de la variation de la position GPS, ce qui lui confère une meilleure précision que le vecteur vitesse sol de l'ADIRU.

Le vent est représenté sur les écrans de navigation (ND) des deux pilotes, en haut à gauche, par une flèche accompagnée de valeurs numériques sous la forme DDD°/VV (où DDD est la direction du vent en degrés magnétiques et VV la vitesse en noeuds).



Figure 40 : exemple d'écran ND sur B 777

En fonctionnement normal, le vent présenté sur les ND est le vent calculé par le FMC. S'il est invalide, le vent calculé par l'ADIRU est présenté à la place. Le vent n'est affiché que pour des valeurs supérieures à 5 kt.

Les valeurs de vent calculées par le FMC sont également affichées sur la page PROG2 du FMS :

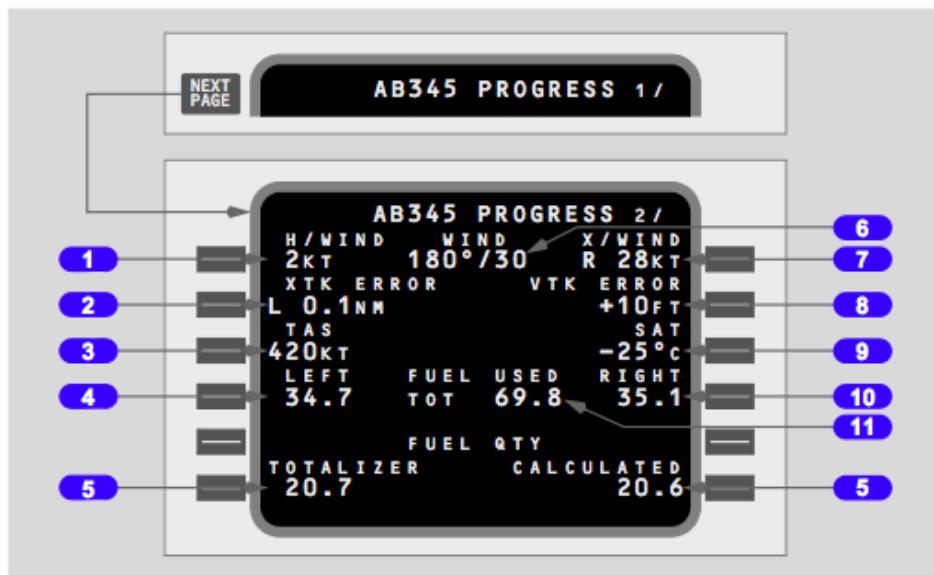


Figure 41 : page PROGRESS 2 du FMS sur B 777 :

flèche 1 : composante de face/arrière / flèche 6 : vent complet / flèche 7 : composante traversière

La précision du vecteur vitesse sol étant bien supérieure dans le FMC que dans l'ADIRU, celle du vecteur vent est également bien meilleure dans le FMC que dans l'ADIRU. Dans l'ADIRU, la précision du vent calculé est de l'ordre de 12 kt en vitesse et 10° en direction. Dans le FMC, la précision est d'environ 2 kt en vitesse et 2° en direction. Cependant, aucune indication sur la précision du vent calculé et présent sur les ND ne figure dans le manuel de vol ou le FCOM.

Utilisation opérationnelle du vent affiché

Selon le constructeur

Les procédures opérationnelles d'Airbus et de Boeing ne prévoient pas que les pilotes utilisent les valeurs de vent affiché pour prendre des décisions, en particulier à l'atterrissement. Le vent qui doit être utilisé par les pilotes pour prendre la décision d'atterrir ou non, y compris en présence de rafales, est le vent donné par la tour de contrôle, qui est moyenné sur deux minutes. En dernier ressort, il revient au CdB de prendre la décision.

Toutefois, Boeing précise que les informations de vent déterminées par le FMC sont précises.

Selon certaines compagnies

Les compagnies participant à l'étude ont toutes indiqué que leurs pilotes utilisaient les informations de vent présentées dans l'avion comme une aide à la décision de RdG. La formation enseigne aux pilotes d'utiliser cette information de manière qualitative. Les compagnies indiquent que le plus souvent cette information leur a paru fiable. Les témoignages indiquent que la précision de l'information de vent fournie par l'ATC peut varier de manière significative d'un continent à l'autre.

Selon une recherche commandée par l'AESA

L'AESA a commandé une étude sur la détection des rafales de vent près du sol auprès d'un chercheur d'un laboratoire européen⁽¹⁴⁾. L'étude préconise, entre autres, d'utiliser un vent moyen sur deux minutes et non pas un vent instantané fourni par le FMS pour détecter les rafales de vent.

⁽¹⁴⁾<http://www.nlr-atci.nl/downloads/analysis-of-existing-practices-and-issues-rega.pdf>.

6 - ANALYSE

L'analyse débute par un descriptif et une synthèse de la problématique des pertes de conscience de la situation en approche lors d'une remise de gaz. Dans un second temps, chaque facteur mis en évidence est analysé de manière détaillée.

6.1 Description des scenarii de type PARG

Ces scenarii sont une synthèse de l'ensemble des événements et statistiques présentés dans la partie factuelle du rapport.

Scénario général

Un événement de type PARG est une remise de gaz qui se caractérise par une perte de contrôle de la trajectoire en RdG. Cette perte de contrôle résulte d'une perte de conscience de la situation par l'équipage amenant l'avion à avoir de larges excursions en assiette longitudinale et en vitesse. L'assiette présente souvent des écarts importants comparés à ceux recommandés par les SOP et les vitesses sont souvent proches des VFE, voire supérieures.

La trajectoire initiale de la RdG est souvent ascendante puis, progressivement et sans réaction évidente de l'équipage, elle devient descendante et aboutit soit à un incident grave, soit à un accident.

Il ressort de l'étude que la plupart des événements de type PARG concernent des avions biréacteurs. En fin de vol, ils sont légers en raison du carburant consommé et présentent un rapport poussée / poids très élevé. En effet, l'ensemble composé des deux moteurs équipant ces avions développe une poussée très importante puisque, selon les normes de certification, l'avion doit être capable d'effectuer la RdG sur un seul moteur.

Les RdG de type PARG sont souvent associées à un élément perturbateur qui surprend l'équipage avant ou lors de la mise en poussée (ex : contraintes ATC imprévues, engagement d'automatismes non conformes à une RdG, environnement météorologique défavorable). Les équipages se retrouvent ainsi confrontés à une situation où ils doivent effectuer un nombre élevé d'actions cruciales (rentrée des trains, gestion de la trajectoire...) sous une très forte pression temporelle. Ces RdG sont généralement effectuées en manuel. Toutefois, certains des scenarii PARG montrent que l'équipage peut engager le PA dans un mode inadapté.

Les collisions ou quasi-collisions avec le sol se produisent généralement moins d'une minute après le début de la remise de gaz.

Par ailleurs, dans la majorité des accidents de type PARG, le CRM entre les membres d'équipage - qui généralement ne faisait pas l'objet de remarques particulières dans les phases préalables à la RdG - devient inopérant au moment de la remise des gaz. Le manque de surveillance du PM est un autre facteur commun identifié.

Cas particulier des remises de gaz avec le réglage du trim proche de la butée à cabrer

Certains incidents graves ou accidents de type PARG sont caractérisés par une perte de contrôle de l'aéronef. En amont, l'approche finale est généralement effectuée sous PA. A la suite d'un événement particulier (par exemple le désengagement de l'auto-manette ou de l'auto-poussée, une erreur de sélection de vitesse ou d'altitude) la vitesse diminue. Le système automatique compense alors cette perte de vitesse par un braquage progressif du PHR à cabrer jusqu'à ce que le PA se désengage et/ou que l'alarme de décrochage se déclenche.

L'équipage réagit et effectue une RdG à faible énergie. L'assiette augmente vers des valeurs excessives en raison de l'application de la pleine poussée alors que la position du trim est proche de la position plein cabré et que l'avion a une vitesse initiale faible. Lorsque la gestion automatique du trim n'est pas/plus disponible, l'action sur le manche/volant en butée à piquer ne permet pas de contrer le couple cabreur généré par la poussée maximale conjuguée à une position du trim plein cabré. L'assiette et l'incidence continuent alors à augmenter jusqu'au décrochage. Les actions qui ont permis à de rares équipages de récupérer le contrôle de l'avion avant le décrochage ont été une diminution de la poussée pendant la RdG puis une action sur le trim à piquer.

Définition de la problématique

Les conditions relatives aux événements de type PARG sont difficiles à détecter et à corriger par les équipages. Il existe toutefois plusieurs facteurs causaux et contributifs communs. Les séances de débriefings sur simulateur et l'analyse du sondage montrent que les pilotes effectuent peu de RdG réelles dans leur carrière. La gestion de la RdG peut ainsi entraîner de nombreuses erreurs. Lors des entraînements périodiques, les équipages sont formés en simulateur avec des scenarii peu représentatifs du phénomène PARG et souvent en condition monomoteur (i.e. panne moteur). Les événements de type PARG se sont toujours produits alors que tous les moteurs fonctionnaient.

L'équipage débute la RdG par une prise d'assiette suivie de l'application de la pleine poussée. L'accélération due à cette rapide et importante augmentation de poussée peut créer la sensation d'une prise d'assiette trop élevée. En l'absence de références visuelles extérieures et de surveillance visuelle des instruments, une illusion somatogravique peut amener le PF à diminuer l'assiette de l'avion vers des valeurs inadaptées. Ces illusions sont méconnues en pratique par les équipages et les simulateurs actuels ne permettent pas de les recréer pour entraîner les pilotes à les reconnaître.

La gestion des automatismes pose aussi des problèmes. L'engagement de modes initiaux différents de ceux attendus pour la RdG, lorsqu'ils ne sont ni annoncés ni vérifiés, amène l'avion à suivre une trajectoire non voulue. Ainsi, en plus de la lecture du FMA, la surveillance des paramètres primaires – assiette et poussée – est une garantie pour l'équipage de s'assurer que les automatismes conduisent l'avion sur une trajectoire ascendante lors de la RdG.

La succession des changements de mode est difficile à détecter, à annoncer et à vérifier lors de la RdG. La pression temporelle associée aux capacités cognitives limitées de l'humain - et donc des équipages - est la problématique majeure des PARG. L'équipage doit réaliser un grand nombre d'actions et de vérifications croisées en un temps réduit. La surcharge cognitive induite peut empêcher la détection d'écart éventuels à la fois par le PF, principalement concentré sur le PFD, et par le PM qui assure un ensemble de tâches différentes dispersant son attention. Ainsi, un écart, même important, de paramètre ou de trajectoire peut ne pas être détecté par l'équipage.

Dans les événements de type PARG, le PM a un rôle primordial et une charge de travail soudaine, élevée et supérieure à celle du PF. Elle est de surcroît difficile à ordonner et gérer. Toute déficience dans sa tâche de surveillance peut avoir des conséquences catastrophiques.

Dans les conclusions des rapports d'accidents, l'absence de CRM apparaît souvent comme un facteur contributif. Pourtant, le CRM fonctionne souvent nominalement et ne fait pas l'objet de remarques majeures avant que n'intervienne un élément perturbateur à l'issue ou pendant la RdG. De même, lorsqu'il s'agit d'un incident, le CRM fonctionne de nouveau après que l'équipage a repris le contrôle de la trajectoire.

L'analyse des incidents et accidents, les résultats des séances en simulateur et les données du sondage montrent qu'il ne faut pas se limiter à simplement attribuer à l'équipage l'absence de suivi des principes du CRM. Il est nécessaire de trouver des moyens supplémentaires afin d'aider les équipages à retrouver une synergie. Cette « absence de CRM » semble, à l'heure actuelle, être une conséquence normale lorsqu'existe une situation associant surprise, surcharge cognitive, pression temporelle et stress élevé. L'évaluation de la perte de conscience de la situation devrait donc faire l'objet de mesures aussi bien dans la formation qu'au niveau des règlements de certification de l'avion.

A cela s'ajoute la prise en compte des contraintes ATC :

- les trajectoires peuvent être différentes de celles publiées dans la procédure préparée lors de l'approche ;
- les performances des avions sont peu compatibles avec certaines procédures de RdG publiées.

Dans tous les cas, l'absence de prise en compte de notion de stabilisation de la trajectoire de RdG peut accroître les difficultés pour les équipages.

Ainsi, l'enjeu principal de la réalisation d'une RdG réussie repose sur le fait de trouver des moyens pour donner du temps aux équipages dans la réalisation de celle-ci et également de simplifier leurs actions.

Par ailleurs, que ce soit pour la détermination des circonstances d'un accident, la discussion à l'issue d'une séance de simulateur ou pour l'évaluation des capacités de surveillance des membres d'équipages, l'utilisation d'un enregistreur vidéo s'avère être un outil indispensable pour éviter toute erreur d'analyse (biais de rétrospection) lors de l'enquête.

Enfin se pose la problématique de la fatigue en fin de vol long courrier qui peut jouer un rôle dans la prise de décision (les équipages étant dans un aspect psychologique les incitant à vouloir atterrir et ne pas effectuer de remise de gaz) et dans la réalisation de la remise de gaz.

6.2 Réalisation de la RdG

Surveillance des paramètres primaires de vol

L'analyse des événements de type PARG met toujours en défaut le couple assiette-poussée et montre qu'à un moment, les équipages n'ont plus conscience de ces paramètres fondamentaux. Même si l'assiette et la poussée peuvent varier au cours de la remise de gaz (mode SRS / mode SPD), elles restent des items fondamentaux à surveiller pendant la procédure. Leur ordre de grandeur doit également être connu. Une fois l'assiette et la poussée stabilisées, la vitesse est un paramètre à surveiller également.

Bien qu'une majorité de pilotes indique ne pas avoir de problème pour maintenir l'assiette au cours de la RdG (plus de 66 % des pilotes selon le sondage) ou gérer la poussée (plus de 53 % des pilotes), les instructeurs soulignent en majorité le contraire.

Ainsi, lorsqu'un équipage est « perdu » au cours d'une remise de gaz, le couple assiette/poussée puis la vitesse doivent impérativement revenir au cœur de sa stratégie.

Par ailleurs, en formation, les pilotes sont incités à déconnecter les automatismes (en particulier le PA, les DV, l'A/THR ou l'AT) lorsque l'avion ne réagit pas comme voulu. Ce principe n'a été que rarement appliqué par les équipages concernés par les événements de l'étude lorsqu'ils se sont retrouvés dans une situation où ils ne comprenaient plus le fonctionnement des automatismes. En particulier, en cas d'augmentation rapide de la vitesse, ils n'ont pas réalisé qu'il valait mieux réduire manuellement la poussée, plutôt que de tenter de « comprendre ».

A contrario, les équipages doivent s'assurer qu'ils ne réengagent les automatismes qu'une fois les DV centrés et les modes FMA parfaitement compris et cohérents avec leur plan d'action ; c'est-à-dire une fois la situation stabilisée. Il s'avère que cette problématique s'est aussi révélée lors des incidents de l'étude : certains équipages ont ainsi utilisé les automatismes sans vérification croyant qu'ils pourraient les aider à stabiliser l'aéronef. Une étude sur l'utilisation et la compréhension des automatismes par les équipages pourrait ainsi être lancée.

Pression Temporelle

Des deux membres d'équipage, c'est le PM qui a la charge de travail la plus lourde, notamment lors de la prise en compte d'éventuelles contraintes ATC et lors de la rentrée des traînées. Les pilotes l'ont confirmé tant dans les entretiens post simulations que dans le sondage réalisé par le BEA.

Cette surcharge de travail pour le PM l'amène à prioriser ses actions au détriment des actions de surveillance. Les PF sont également contraints de faire des choix sur les paramètres à surveiller en raison de la surcharge de travail et de la rapidité d'évolution de certains de ces paramètres.

Les rapports d'accidents ou d'incidents graves ont révélé de nombreuses erreurs confirmées par l'analyse des séances de simulation et du circuit visuel. Les spécialistes facteurs humains qui ont participé à cette étude confirment que la remise de gaz est une phase de vol chargée. L'étude a permis d'évaluer la charge de travail et la pression temporelle associée.

Dans les faits, les sessions de simulation confortent les témoignages du sondage en mettant en lumière une charge de travail excessive où la surprise associée à la nécessaire rapidité d'exécution crée une situation de stress, en particulier en IMC.

La formation et le respect de procédures sont des éléments importants mais ils ne permettent pas de repousser ces limitations. L'utilisation de la technologie est un axe de progrès possible car elle peut permettre de simplifier les actions et donner le temps aux pilotes de les exécuter et de les contrôler. Les constructeurs tiennent compte des limitations cognitives en se basant principalement sur leur propre expérience. Mais l'étude a révélé que cette prise en compte était insuffisante pour réaliser correctement les procédures et actions requises. Il ne suffit pas de bien les enseigner pour qu'elles soient bien appliquées, tout en exigeant dans le même temps une discipline et une coordination parfaite de l'équipage.

En conclusion, la phase de remise de gaz est « chargée » et il faut impérativement donner plus de temps à l'équipage afin qu'elle présente moins de risque.

Poussée des aéronefs modernes

La maîtrise de la remise de gaz nécessite de contrôler la totalité des actions requises dans le temps imparti, lui-même fonction de la vitesse de leur évolution. Dans ce cadre, le paramètre primaire en RdG est la poussée car elle agit directement sur l'accélération et la vitesse verticale. Le paramètre initial de conduite principal reste cependant l'assiette longitudinale qui, pour une poussée donnée, fixe la répartition entre l'accélération longitudinale et la vitesse verticale. Certains PF lors des séances ont agi sur la poussée en la limitant, ce qui leur a permis de ne pas trop s'écartez des consignes imposées, dans le but de maîtriser temporellement la gestion de l'ensemble de leurs paramètres de conduite. A l'inverse, lors de certains accidents, les PF n'ont plus géré la poussée après le début de la RdG.

La limitation de poussée sur Boeing 777 ou la gestion manuelle de la poussée sur d'autres avions a permis à certains équipages d'éviter des dépassements d'altitude ou de vitesse trop importants.

Note : Airbus a depuis certifié une poussée réduite sur A 380 dénommée « SOFT GA ». Pour la sélectionner, il faut avancer les manettes en butée vers le cran TOGA puis les reculer d'un cran vers le cran MCT. Cette fonction est en cours de certification sur A 330 et A 340.

Cette limitation de poussée a pour principal objectif de limiter les effets des illusions somatograviques. Mais en induisant également une limitation de la vitesse verticale, elle permet de donner du temps supplémentaire à la réalisation de la remise de gaz. Sur B 777, la vitesse verticale est par défaut⁽¹⁵⁾ limitée à 2 000 ft/min alors que sur A 330, des vitesses verticales pouvant atteindre 4 000 ft/min ont été observées. Ainsi, l'utilisation d'une poussée réduite est un moyen utile qu'il convient de généraliser à l'ensemble des constructeurs.

⁽¹⁵⁾Il est toujours possible d'obtenir une poussée maximale en appuyant deux fois sur les « TOGA switches ».

Sélection et erreurs d'engagement du mode de RdG

Il peut exister un conflit entre l'application de la poussée maximale et le contexte opérationnel qui ne le nécessite pas forcément. En effet, lorsque l'aéronef se trouve à une altitude proche ou au-dessus de celle de la remise de gaz, la pleine poussée n'est pas nécessaire.

A titre d'exemple, sur les Airbus, l'enclenchement du mode de remise de gaz s'effectue toujours par l'avancée en butée avant des manettes de poussée. Le mode de remise de gaz est toujours associé à l'application de la pleine poussée quelle que soit la phase de vol. Une erreur de cran, que ce soit vers l'avant ou l'arrière, entraîne une sélection inadéquate des modes ; les conséquences peuvent être soit un non-engagement initial du mode de remise de gaz, soit une non-réduction de la poussée par la suite.

Il peut donc y avoir une réticence naturelle à devoir amener les manettes en butée pour enclencher la remise de gaz, et aussi, une tendance à la précipitation pour revenir sur le cran CLB. Tous ces facteurs peuvent favoriser les erreurs de sélection lors du mouvement des manettes tant en avant qu'en arrière.

Ces erreurs de sélection ont été constatées dans les incidents graves et mentionnés dans le sondage. L'absence de détection des changements de mode montre la difficulté à détecter ces erreurs dans une phase de vol chargée.

Sur Boeing, le mode d'engagement de RdG est différent. Des erreurs dans l'engagement initial du mode de remise de gaz ont aussi été mises en évidence et n'ont pas non plus été initialement détectées.

Des études devraient être lancées afin de réévaluer les erreurs liées à l'engagement des modes de remise de gaz et éventuellement proposer un moyen plus simple de les engager en corrélation avec une poussée adaptée aux conditions du vol.

Tous les événements soulignent une inadéquation entre la poussée appliquée et l'assiette. En effet, quel que soit le constructeur, des cas de pleine poussée sur une trajectoire descendante ont été constatés. Des cas d'assiette négative après l'application de la pleine poussée existent aussi, et cela à faible altitude. Le BEA estime donc que les constructeurs devraient engager des études pour informer les équipages d'une incohérence de la relation assiette/poussée et les aider à corriger la situation.

6.3 Gestion du circuit visuel

Circuit visuel du PM

Les résultats de l'oculométrie lors des simulations ont montré que le circuit visuel des PM était diffus lors de la remise de gaz : bien qu'en moyenne, ils passent le même temps sur chaque zone d'intérêt, l'ordre du balayage des items qu'ils surveillent est totalement différent suivant les pilotes. Cela veut dire que le chemin parcouru par le regard des PM n'est pas standard. L'étude du circuit visuel lors des séances de simulateur a aussi montré que les pilotes n'ont pas de méthode personnelle.

Le sondage indique que de nombreux PM ne savent pas où regarder ni à quel moment lors d'une remise de gaz. Or les pilotes sont demandeurs d'une méthode qui les aiderait à optimiser la réalisation de l'ensemble des actions requises tout en conservant un haut niveau de surveillance. Sans formation sur le circuit visuel à réaliser, il est difficilement envisageable qu'un pilote sache l'organiser pour une procédure rarement effectuée et qui demande de nombreuses actions.

En conclusion, il est nécessaire que constructeurs et exploitants définissent ensemble un circuit visuel qui permettrait d'optimiser le travail en équipage des pilotes lors d'une remise de gaz. De même, une réflexion devrait être engagée quant à l'extension de la définition d'un circuit visuel standard pour les procédures qui requièrent une charge de travail élevée dans un temps imparti relativement court.

Suivi de la procédure de remise de gaz

L'analyse des séances de simulations a démontré que les procédures élaborées par les constructeurs et/ou exploitants sont, dans leur ensemble, suivies par les équipages. A l'inverse, les enquêtes réalisées à l'occasion des accidents de type PARG ont montré que, de manière générale, la procédure de remise de gaz n'avait pas été exécutée en conformité avec la procédure publiée.

L'étude met en lumière que le respect de l'ensemble des items de la procédure se fait souvent au détriment des fonctions de surveillance et surtout du suivi de trajectoire. Il existe un conflit entre les règles de base de pilotage et la séquence imposée par la procédure de remise de gaz. Il convient donc que les constructeurs adaptent leur procédure en fonction de contextes opérationnels réalistes - notamment contraintes ATC et performances aéronefs - en utilisant des outils appropriés leur permettant d'évaluer de manière plus approfondie la charge de travail des pilotes, via le circuit visuel des pilotes.

Remise de gaz et traînées

Les procédures de remise de gaz ont été élaborées à partir d'une analyse de risque. Aujourd'hui, avec des aéronefs modernes sur-motorisés et légers en fin de vol, le risque d'accident n'est plus lié à la gestion de la configuration mais bien à celui de la gestion de la trajectoire de l'aéronef.

Dans certains cas, les constructeurs prévoient déjà que la séquence de rentrée des volets puisse être retardée. On peut citer le cas de l'interruption de la procédure ILS PRM Approach⁽¹⁶⁾ ou le cas d'un cisaillement de vent (procédure *Windshear*). Cela permet aux équipages de disposer de plus de ressources pour effectuer la procédure.

Certains constructeurs prévoient également une rentrée automatique d'un cran des volets lorsque la VFE est dépassée.

Puisque la gestion de la configuration par le PM est chronophage et se fait au détriment de la surveillance, une étude pourrait être lancée sur l'opportunité d'aider le PM à surveiller les paramètres liés à la trajectoire en le déchargeant partiellement de cette gestion.

⁽¹⁶⁾Le principe d'approche ILS PRM permet à deux aéronefs d'effectuer simultanément une approche ILS sur deux pistes parallèles rapprochées.

Focalisation excessive de l'attention

L'analyse de certains accidents semble suggérer que la phase de RdG conduit à des phénomènes de tunnélisation attentionnelle où un pilote, voire les deux, se focalisent exclusivement sur un problème au détriment de la surveillance générale des paramètres de vol. Cette problématique de focalisation excessive ressort également de l'examen des témoignages issus du sondage. En revanche, les expérimentations n'ont pas permis d'observer de tunnélisation. L'analyse fine de certaines remises de gaz semble néanmoins en révéler des comportements précurseurs.

En particulier, les données oculaires montrent que certaines actions de pilotage à travers l'utilisation d'instruments de vol génèrent de fortes « *captures* » de l'attention : la programmation de la trajectoire à partir du FCU/MCP, la conduite de la trajectoire à l'aide du directeur de vol et la gestion des volets par rapport aux vitesses limites (VFE). Les instruments utilisés pour réaliser ces actions sont ceux qui produisent soit les temps de focalisation (i.e. fixations exclusives) les plus longs, soit les fréquences de fixation les plus élevées, soit les deux. L'ergonomie particulière de certains de ces instruments peut contribuer à renforcer et entretenir une tunnélisation attentionnelle. Ainsi, la position du FCU/MCP, éloignée de tout instrument primaire de vol, ne permet pas aux pilotes, engagés dans des réglages fins des rotateurs, d'avoir accès en vision périphérique aux paramètres de la trajectoire. Par exemple lors d'une remise de gaz, un OPL se focalise exclusivement sur cette interface pendant dix secondes sans surveiller aucune autre information de vol telle que les paramètres de la trajectoire. Pour information, il est reconnu dans le domaine automobile que la focalisation de l'attention sur une interface secondaire (ex : GPS, autoradio, rétroviseur...) ne doit jamais excéder deux secondes (source : National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, 2006). En l'absence de transposition de cette étude au domaine aéronautique, on ne peut toutefois pas affirmer que cette durée est excessive même si elle le semble.

Le pilotage à l'aide du DV requiert également une attention soutenue qui peut entraîner un état de fascination si des paramètres primaires (cap, altitude cible, vitesse verticale) sont incorrectement réglés (RdG séance A par exemple). Cela peut amener l'avion en dehors de la trajectoire prévue. Les expérimentations PARG renforcent l'impression de focalisations liées à la réalisation de ces différentes actions.

Les phénomènes de focalisation excessive présentent trois inconvénients :

- ils sont difficilement prévisibles ;
- ils sont difficiles à détecter et donc à prévenir ;
- une fois le pilote focalisé, il est difficile de l'en faire sortir.

Il semble nécessaire d'étudier les moyens permettant de prévenir et/ou de faire sortir les pilotes des phénomènes de focalisation excessive. Le BEA a observé, lors d'enquêtes récentes, que des informations essentielles qui auraient pu aider les équipages à sortir d'une situation inusuelle étaient disséminées au milieu de nombreuses autres, d'importances moindres. Ainsi la saillance des informations essentielles (visuelle et auditive) pourraient être améliorée au vu de l'intégration croissante d'informations sur les PFD et les ND.

Des recherches dans ce sens devraient être développées ; les plus prometteuses s'orientent aujourd'hui vers une simplification des informations présentées aux équipages dans une situation inusuelle ou encore l'application de stimuli « violents » pour faire réagir les équipages et les aider à les sortir d'une situation de focalisation excessive.

6.4 Ergonomie du cockpit

FMA

En général, les constructeurs s'appuient sur une lecture et une compréhension exhaustive des modes affichés au FMA.

Les simulations et l'analyse des événements montrent que la plupart des équipages ni ne détectent ni ne vérifient tous les changements de mode. Cela peut amener l'avion dans une situation dangereuse. Quel que soit le type d'aéronef, des problèmes liés aux modes ont été observés tout au long de la remise de gaz.

Au début de la remise de gaz, à la suite d'une seule action, les équipages doivent lire jusqu'à quatre informations différentes pour vérifier que le mode de RdG a bien été enclenché. Deux incidents graves illustrent les conséquences d'une absence de lecture : le passage en mode LAND sur Airbus, ou l'accélération à pleine poussée sur l'axe ILS sur Boeing à la suite de la déconnexion de l'AT. L'étude ne remet pas en cause la nécessité de lire les modes FMA, mais une réflexion pourrait être engagée par les constructeurs afin d'en simplifier la lecture et l'interprétation.

Dans un second temps, les simulations ont montré qu'au cours de la remise de gaz, la lecture du FMA est quasiment inexistante. On a pu observer jusqu'à dix changements de modes FMA non détectés alors que certains ont eu une conséquence directe sur le suivi de la trajectoire de l'avion par le PF. La non-détection des changements de mode FMA par les deux membres d'équipage est principalement liée à la saturation cognitive, la pression temporelle, l'absence de circuit visuel défini et la charge de travail associée à la remise de gaz.

Enfin, à l'interception ou à la sélection de l'altitude de remise de gaz, sondage et simulations montrent que, parfois, la pleine poussée est encore appliquée et que des réversions de mode ne sont pas détectées.

Les équipages ne comprennent pas toujours la rapide succession des changements de modes et la diversité des combinaisons possibles. Cela peut avoir des conséquences sur l'attitude de l'avion et sur la conscience de situation des équipages.

Il convient donc de faciliter la détection, la lecture et la compréhension des modes FMA.

Manipulation du FCU/MCP

Les simulations ont mis en évidence que le PM pouvait rester focalisé sur la gestion du FCU/MCP pendant des périodes allant jusqu'à dix secondes. Les constructeurs ont indiqué que la formation à la manipulation du FCU/MCP prévoit que les valeurs sélectionnées soient lues sur les EFIS et non sur le FCU/MCP afin d'avoir le regard sur le PFD. Or, la modification des valeurs du FCU/MCP est également affichée sur ce dernier et la quasi-totalité des pilotes les observent lors de changements de valeur.

Il semble évident que l'humain privilégiera l'observation de la valeur affichée à côté du bouton qui est manipulé et ce, quelque soit son niveau de formation, notamment dans des situations de charge de travail élevée.

Les exploitants devraient insister à nouveau sur les bonnes pratiques mais il est probable que des dérives réapparaissent. A moyen terme, il conviendrait que les constructeurs d'aéronefs réfléchissent à une amélioration de la manipulation du FCU/MCP visant à réduire le temps passé dessus.

Position du trim de profondeur

Plusieurs événements étudiés ont résulté d'une (quasi) perte de contrôle lorsque les conditions suivantes étaient réunies :

- une faible vitesse ;
- une position du trim de profondeur proche de la position plein cabré et/ou à cabrer mais en dehors du contexte normal opérationnel ;
- l'application d'une poussée importante.

Lorsque ces trois facteurs sont réunis, le braquage de la gouverne de profondeur en position plein piqué ne permet plus au bout d'un certain temps de contrer le couple cabreur généré par la double action du trim et de la poussée. L'avion peut ainsi sortir du domaine de vol et aller jusqu'au décrochage. Le pilote n'a donc plus d'autorité pour corriger l'assiette de l'aéronef lorsqu'il actionne le manche à piquer.

Les informations qui lui sont alors présentées ne l'orientent généralement pas vers les actions adéquates, à savoir une diminution de la poussée et/ou une modification de la position du trim. Les risques observés sont un décrochage à faible hauteur irattrapable. L'étude a montré que ce risque n'est pas directement pris en compte dans la certification.

Sans connaissance de la position du trim à très faible vitesse, la seule méthode pour sortir de cette situation est une réduction immédiate de la poussée lorsque l'avion part excessivement à cabrer. On comprend toute la difficulté de la mise en œuvre de cette manœuvre peu naturelle et peu connue des équipages lors d'une remise de gaz. Devant le risque avéré de perte de contrôle, le BEA estime que l'AESA devrait s'assurer que la procédure de récupération (« *upset recovery* ») est parfaitement connue des équipages, notamment en ce qui concerne la réduction de la poussée.

En raison du développement des aéronefs auto-trimés ou de l'utilisation intensive du pilote automatique, la gestion de la position du trim de profondeur par les pilotes est de moins en moins, voire jamais, effectuée. Le réglage du trim étant automatisé en vol, son utilisation devient transparente pour le pilote. Aussi, devant l'incertitude de l'application de la procédure de récupération, il apparaît nécessaire que les constructeurs développent un moyen pour que l'équipage prenne conscience le plus en amont possible d'une diminution excessive de vitesse afin qu'il évite d'appliquer la pleine poussée avec une position inusuelle à cabrer du trim de profondeur. Il faut également qu'ils réfléchissent aux moyens d'empêcher le trim d'atteindre ou de rester dans une position inadéquate vis-à-vis des conditions de vol afin que l'avion ne devienne pas incontrôlable lors d'une remise de gaz à faible énergie.

Vent présenté aux équipages

Le vent est une source d'information indispensable aux équipages pour la conduite du vol et en particulier lors de la décision d'effectuer une remise de gaz, notamment en cas de vent arrière.

Deux sources d'informations sont utilisées par les équipages :

- le vent ATC fourni par les services du contrôle ;
- le vent Avion calculé par les ADIRU seules ou associées à l'information GPS.

Réglementairement, seul le vent ATC fait foi. Mais, quatre problèmes ont été mis en évidence lors de l'étude :

- le vent ATC n'est pas un vent instantané mais un vent moyen ;
- le degré de confiance accordé par les équipages au vent ATC diffère d'un continent à l'autre ;
- en cas de vent arrière, le vent au sol est généralement significativement inférieur au vent en altitude rencontré lors de l'approche. Cela peut créer un conflit lors de la prise de décision d'une remise de gaz ;
- le vent présenté aux équipages et affiché sur le ND ou la page associée du FMS est souvent utilisé par les équipages pour la prise de décision.

Or, les équipages ne connaissent ni la précision du vent présenté ni sa source. A titre d'exemple, sur A 330, le vent Avion est calculé uniquement à partir des ADIRU, et n'est pas garanti en dessous de 50 kt de force. A contrario, un vent Avion incluant l'information GPS est très précis (sur A 380 ou B 777 par exemple).

Quelle que soit la source, les équipages ont tendance à faire confiance au vent Avion au détriment du vent ATC. Malheureusement, de nombreux aéronefs de transport public n'utilisent pas la source GPS pour fournir aux équipages un vent précis. Cette information n'est pas documentée dans les FCOM.

La problématique du vent Avion dépasse le cadre de cette étude. Le vent est un paramètre essentiel pris en compte dans le pilotage et les stratégies adoptées. Sans remettre en cause l'aspect réglementaire du vent ATC, le BEA estime que l'information de vent Avion doit être la plus précise possible et que les équipages doivent également connaître la précision des informations présentées.

6.5 Illusions somatograviques

Les illusions somatograviques sont un facteur contributif aux accidents et incidents graves de type PARG, principalement en l'absence de références visuelles extérieures. Confrontés à ces illusions, des pilotes ont probablement poussé sur le manche alors, qu'en remise de gaz, l'objectif est au contraire de s'éloigner le plus rapidement possible du sol.

Peu de pilotes ont conscience et savent que, non seulement la différence entre l'assiette ressentie lors d'une remise de gaz et l'assiette réelle de l'avion peut parfois atteindre des valeurs allant jusqu'à 15 degrés, mais qu'en plus, l'assiette ressentie peut être significativement positive tandis que l'assiette réelle de l'avion est négative.

La différence entre l'assiette ressentie et l'assiette réelle qui caractérise les illusions somatograviques n'est toujours pas correctement simulée aujourd'hui. L'étude a pourtant montré que des progrès semblent possibles. Il est nécessaire que l'assiette ressentie lors des séances de simulateur soit représentative de celle en vol.

Par ailleurs, l'évaluation de la représentativité du mouvement des simulateurs est subjective. Aucune norme réglementaire n'existe. Les équipages n'effectuant pas souvent de remise de gaz réelle, la criticité de cette faille doit être comblée car, dans le cas de la remise de gaz, le simulateur est la seule source d'apprentissage. L'enquête sur l'accident de l'aéronef immatriculé F-GZCP survenu le 1^{er} juin 2009 a déjà conduit le BEA à recommander de « faire évoluer les bases réglementaires pour aboutir à un niveau de qualification supérieur des simulateurs afin d'en assurer une meilleure représentativité ».

Certains constructeurs ont indiqué au BEA qu'il existe déjà une représentation numérique de terrain en trois dimensions présenté aux équipages. Ainsi, un pilote en IMC peut disposer de références visuelles extérieures « artificielles » et donc mieux réagir lorsque l'avion se rapproche dangereusement du sol. La majorité des accidents de type PARG s'est déroulée de nuit et/ou en IMC. Les conséquences des illusions somatograviques pourraient probablement être mieux compensées par l'apport d'une information sur l'environnement extérieur.

Enfin, il est aujourd'hui réglementairement possible d'effectuer du transport de passagers sans jamais avoir été confronté :

- aux illusions somatograviques ;
- à la pression temporelle associée aux modifications de procédure et l'application de la pleine poussée tous moteurs en fonctionnement ;
- à la réalisation d'une remise de gaz haute énergie au-dessus des minima opérationnels.

Le sondage a fait ressortir un nombre significatif de témoignages de pilotes exprimant des difficultés importantes lors de la réalisation de leur toute première remise de gaz réelle en adaptation en ligne. Une ou plusieurs remises de gaz doivent donc être réalisées - à défaut d'une meilleure représentativité des simulateurs - lors d'un vol hors ligne. Ce vol est généralement obligatoire en Europe après la réussite du test au simulateur. Aucun programme minimal n'est réglementairement prévu. Au niveau mondial, l'OACI ne mentionne pas l'obligation d'effectuer un vol hors ligne après la réussite du test au simulateur. Dans tous les cas, il semble important d'effectuer un vol réel hors ligne dont le programme inclut une ou plusieurs remises de gaz tous moteurs en fonctionnement avant de pouvoir transporter des passagers pour l'obtention d'une première QT de type CS 25.

6.6 Formation équipage

Formation initiale

Dès le début de sa formation, le pilote est confronté à la procédure de RdG. Bien enseignée, elle est bien restituée par les élèves. La répétition des vols et de la manœuvre va contribuer à la bonne performance du pilote. Au cours des phases avancées de formation, la procédure étant peu effectuée au quotidien, elle n'est plus présente dans les actions « réflexes ». Elle est présente sous la forme d'un « outil de pilotage » qui permet de réaliser un nouveau circuit ou une nouvelle procédure aux instruments.

Il peut exister une sorte de confusion sémantique entre une procédure et une manœuvre dont on oublie les fondements. Le besoin de réaction rapide n'apparaissant plus, la stricte adhésion aux différents items peut se déliter.

Les clairances diverses ou les échanges radio entraînent une plus grande dispersion de l'attention : les procédures de remise de gaz sont un peu moins bien décidées et / ou réalisées. Si la mise en puissance n'est pas oubliée (probablement en raison des faibles performances des avions utilisés), la prise d'assiette est parfois variable et non-conforme à celle requise pour la réalisation de la manœuvre.

De plus, dans toutes ces phases qui amènent le pilote vers la licence professionnelle et les qualifications de vol aux instruments, le pilote est souvent commandant de bord, seul pilote à bord. Des écarts par rapport à la procédure sont notés à la fin de cette phase par les instructeurs interrogés lors de l'étude.

Formation en équipage et surveillance

Après avoir passé ce stade essentiel, le pilote va s'aguerrir et accroître son expérience en vol. En Europe, avant d'être qualifié sur un type d'avion de transport de passagers, il devra souvent suivre une formation MCC. Cette phase est importante puisqu'elle va introduire le concept d'équipage avec tous les principes de la communication adaptés au poste de pilotage. Au-delà des facteurs humains de base, les annonces techniques et leur application en simulateur vont être enseignées afin d'apprendre à communiquer avec un autre pilote et mettre en œuvre un avion dans un cadre très normé.

La surveillance des paramètres, au regard des outils utilisés, fait appel à des techniques apprises dans le cursus initial (balayage en T, par exemple) en tant que CdB, théoriquement seul décisionnaire. Si ce type de surveillance est adapté aux avions anciens, elle l'est beaucoup moins sur les avions en service aujourd'hui pour lesquels on a concentré le maximum d'information sur un écran placé au centre du champ de vision des pilotes. Par ailleurs, plus l'aéronef est récent, plus le nombre d'informations potentielles présentées sur le PFD augmente. Or aujourd'hui, on peut faire des MCC sur un Beech 200, avion monopilote, dont l'ergonomie et les performances sont très éloignées d'un Boeing 737-800 ou d'un Airbus 320.

Au plan des tâches, les procédures et notamment celle de remise de gaz détaillent les actions à réaliser par chacun des membres de l'équipage. Mais les éléments de pilotage à vérifier sont rarement mentionnés. On insiste sur les écarts à annoncer, beaucoup moins sur les paramètres principaux à surveiller lors de la RdG, à savoir assiette et poussée.

Après avoir acquis la MCC, le pilote peut légitimement être candidat au poste d'OPL dans une compagnie de transport public.

Aujourd'hui, les compagnies sélectionnent leurs pilotes selon des critères qui leur sont propres. S'il n'est pas envisageable de leur imposer des normes strictes de recrutement, il est tout de même souhaitable de les inciter à évaluer le plus en profondeur possible l'aptitude du candidat aux fonctions de surveillance. La fonction de surveillance est aujourd'hui capitale.

Qualification de type

La phase de qualification sur type ne pose pas de problème particulier puisque l'apprentissage s'effectue selon les principes définis par les constructeurs et l'application stricte de la procédure. On note cependant quelques difficultés liées à la découverte du fonctionnement d'un nouvel avion. En effet, à ce stade une familiarisation insuffisante avec la procédure, des difficultés de maniement de l'avion et une surcharge de travail ont été observées. Ce dernier point est important au regard des conditions d'exécution de la procédure au simulateur qui n'est pas contraint par l'environnement (pas ou peu d'interaction avec l'ATC, pas de dysfonctionnements majeurs des systèmes, pas de trajectoires modifiées).

Après la réussite du test sur simulateur lors de leur première qualification de type CS 25, un vol hors ligne est généralement effectué en Europe mais n'est pas toujours imposé ailleurs. Cependant, aucune remise de gaz en vol « réel » n'est obligatoire. Les équipages sont rarement confrontés aux accélérations réelles, notamment longitudinales, qui sont à l'origine des illusions somatograviques.

Entraînements périodiques

Dans la phase Entraînement et Contrôles Périodiques, à la suite d'incidents, certains exploitants ont ajouté la remise de gaz tous moteurs en fonctionnement en sus du programme réglementaire. Cet ajout permet également d'ajuster l'exécution de la procédure, surtout lorsqu'elle est effectuée en mode manuel.

Certains instructeurs ont noté des écarts lorsque les pilotes suivent le déroulement de la procédure du constructeur en mode automatique : TOGA, action à cabrer. Il en résulte soit une prise d'assiette non conforme (entre 5 et 10° d'assiette), soit pas de prise d'assiette du tout, une accélération sur trajectoire avec un rapprochement rapide des vitesses limites, etc.

Ils ont également noté que la gestion des automatismes n'était pas parfaite. Les événements de l'étude ainsi que les séances de simulation montrent que les modes FMA lors de l'engagement des automatismes ainsi que leurs changements par la suite ne sont pas systématiquement annoncés et/ou vérifiés.

De plus, le nombre de scenarii qui pourrait contribuer à placer les pilotes dans des situations variées est très insuffisant. La plupart du temps, une remise de gaz standard est demandée. L'étude a montré combien les scenarii d'accidents mettaient en lumière l'importance d'un élément perturbateur ou d'une « surprise ». Aussi, il conviendrait d'entraîner les équipages à réaliser, en plus d'une remise de gaz standard, une remise de gaz réaliste en s'inspirant des scenarii décrits dans l'étude.

Enfin, on note le paradoxe de l'exécution réglementaire de remise de gaz avec un moteur en panne au détriment de remise de gaz tous moteurs en fonctionnement. Comme il y a moins de poussée, il y a plus de temps pour l'exécuter. Il faudrait donc équilibrer les remises de gaz avec un moteur en panne, dont l'apprentissage ne peut être remis en question, avec celles réalisées tous moteurs en fonctionnement. L'étude n'a pas mis en évidence, à une exception près (accident de Port Sudan), d'accidents majeurs en configuration « *un moteur en panne* ».

6.7 Gestion du trafic aérien (ATM)

Modification de la trajectoire de RdG par l'ATC

Lorsque les équipages préparent une descente, ils effectuent principalement deux actions :

- ils programment dans le FMS la procédure d'approche finale publiée et indiquée par le contrôle. Elle contient aussi la RdG ;
- ils effectuent un briefing rappelant les points clefs de la procédure et de la RdG.

Ces actions sont généralement effectuées une demi-heure avant l'heure estimée d'atterrissement. Comme il a été remarqué lors des simulations, certains équipages prennent le soin de ré-effectuer un court briefing sur la RdG lors de l'approche finale. Ce « *mini-briefing* » réactive les points clefs de la RdG afin de les aider dans la réalisation de celle-ci. Toute modification de la trajectoire prévue perturbe donc l'équipage et sa cohésion. Qu'il y ait « *mini-briefing* » ou pas en finale, certaines actions en mémoire peuvent être contredites par les ordres du contrôle. Les équipages peuvent donc être surpris et déstabilisés en cas de modifications de trajectoire de la remise de gaz demandées par l'ATC.

Dans certains accidents ou incidents graves étudiés ainsi que dans l'analyse de nombreux témoignages du sondage, on retrouve également les clairances du contrôleur comme élément perturbateur et/ou contribuant à l'augmentation de la charge de travail.

Les expériences en simulateur révèlent que les consignes données par le contrôleur ne sont pas immédiatement prises en compte par l'équipage au début de la procédure de RdG. Sur une durée totale moyenne d'une minute environ pour la réalisation d'une RdG, trente secondes en moyenne sont nécessaires aux équipages pour s'en souvenir. La plupart des équipages ne se remémorent pas précisément les valeurs chiffrées. Ceci s'explique par plusieurs raisons : d'une part, il est enseigné aux équipages de ne pas se laisser perturber par l'ATC (« *stand-by* » ou pas de collationnement) ; d'autre part, les nombreuses actions à réaliser (rentrée des traînées, gestion de la trajectoire..) accaparent l'ensemble des capacités de l'équipage et lui laissent peu de disponibilité pour percevoir et mémoriser les informations extérieures.

Dans la majorité des RdG1 en simulation, ce n'est pas le PM qui s'est souvenu de la clairance ATC mais le PF. Ceci est l'un des éléments qui montre que le PM ne dispose plus des ressources nécessaires à l'accomplissement des actions initiales de la RdG et la prise en compte d'une perturbation ATC dans la séquence. De plus, le PF est également perturbé car il attend la prise en compte de ces contraintes par le PM.

Par ailleurs, les modifications de trajectoire ne permettent pas aux équipages d'utiliser et d'activer le suivi de la trajectoire de RdG insérée dans le FMS. Ainsi, les ordres DV affichées sur les PFD au début de la RdG ne sont pas ceux que le PF devrait suivre tant que les contraintes ATC n'ont pas été prises en compte au travers de l'utilisation du FCU/MCP.

Lorsque le PM prend enfin en compte les contraintes ATC, les analyses du circuit visuel lors des séances de simulation montrent qu'il est accaparé par la gestion du cap et de l'altitude au détriment de la surveillance de la trajectoire et de certains paramètres primaires.

Les séances de simulation, les témoignages issus du sondage et l'analyse des événements montrent que les communications avec l'ATC ont des conséquences potentiellement négatives telles que :

- la verbalisation excessive dans une phase de vol chargée ;
- la perturbation dans l'accomplissement du CRM ;
- un risque d'erreur dans la prise en compte des valeurs de la clairance au FCU/MCP ;
- des erreurs de trajectoire initiale avec un risque de collision en vol ou avec le sol ;
- la modification non voulue des modes FMA de l'avion.

La RdG2 des séances de simulation a montré des conséquences similaires mais moins graves du fait qu'il n'y ait qu'une perturbation en altitude et non en cap. La RdG3 en automatique et standard a montré une plus grande disponibilité de l'équipage pour les aspects de surveillance et une très nette amélioration de l'application de la procédure. Les équipages ont pu bénéficier d'un effet d'apprentissage dès la deuxième RdG qui a amélioré leur performance de pilotage et leur disponibilité mentale. Le fait que la RdG3 ne soit pas perturbée s'est également révélé un facteur de meilleure réalisation.

Ainsi, pour toutes les raisons évoquées ci-dessus, le BEA estime qu'il est nécessaire - sauf nécessité absolue - que l'ATC ne donne pas d'instruction contraire à la procédure de RdG publiée.

S'il s'avérait cependant nécessaire pour l'ATC de modifier la procédure de RdG, il conviendrait d'étudier les moyens permettant de l'anticiper afin de l'annoncer aux équipages le plus tôt possible de façon à ce qu'ils puissent s'y préparer et diminuer le risque associé à la surprise.

Formation et procédures des contrôleurs

L'OACI prévoit qu'en dehors de raisons de sécurité, aucune transmission ne doit être faite à l'aéronef en cours de décollage, lors de la partie finale de la procédure d'approche et lors du roulement à l'atterrissage. Ces dispositions ne prennent pas en compte l'approche interrompue. Or, la verbalisation de l'ATC pendant une RdG est un facteur perturbateur et dans certains contextes, un élément perturbateur peut s'avérer être un facteur important de déstabilisation de l'équipage. Il convient donc de demander à l'OACI d'étudier la possibilité d'établir une norme exigeant que l'ATC n'émette aucune transmission tant que l'équipage n'a pas indiqué que la procédure de RdG est terminée sauf pour raison de sécurité.

Enfin, il est nécessaire de s'assurer que la formation des contrôleurs insiste sur l'ensemble des risques associés aux modifications de trajectoires et aux communications lors de la réalisation de la RdG afin de mieux appréhender leurs conséquences : une augmentation de la charge de travail et de la pression temporelle. Au niveau Européen, l'AESA devrait conduire des audits afin de s'assurer que les autorités nationales intègrent dans la formation des contrôleurs les points ci-dessus.

Procédures publiées d'approche interrompue

Il est nécessaire de donner du temps aux équipages pour la réalisation de la RdG et perturber le moins possible la trajectoire.

Les procédures de RdG sont construites sans prendre en compte les risques qu'elles font courir aux équipages lorsque l'altitude du palier est insuffisante au regard de la vitesse ascensionnelle des avions. En effet, le sondage et les simulations montrent qu'une grande proportion d'équipages éprouve des difficultés lorsque le gain de hauteur lors de la RdG est faible. Deux cas peuvent se présenter :

- une altitude de RdG faible au regard de celle des minima ;
- une RdG effectuée à une altitude proche, voire au-dessus de l'altitude publiée de la RdG.

Lorsque la différence entre les minima de percée et la hauteur de RdG est faible, les équipages disposent d'un temps insuffisant pour la réalisation correcte des manœuvres. Les simulations semblent montrer qu'une altitude de RdG au-dessus des minima inférieure à 2 000 ft ne laisse pas suffisamment de temps pour effectuer la manœuvre dans de bonnes conditions.

Le BEA estime donc qu'une différence suffisante de hauteur entre celles des minima et celle de RdG doit être recherchée. Elle devrait prendre en compte, outre les facteurs environnementaux, les performances des avions modernes et notamment leur vitesse verticale. Le temps nécessaire pour rejoindre l'altitude de RdG étant déterminant, un gain de hauteur minimal devrait donc être réévalué en fonction de l'évolution des performances des avions.

Lorsqu'un équipage effectue une RdG sans l'aide des automatismes, il suit initialement le même cap que celui qu'il avait en finale. La plupart du temps, les finales sont alignées sur l'axe de piste. Une trajectoire de RdG qui prolonge celle de la finale est donc plus facile à suivre. Dans la terminologie OACI, cette possibilité se dénomme approche interrompue en ligne droite. Toutefois, l'OACI n'indique pas que la construction d'une telle procédure devrait être systématiquement la norme sauf contraintes environnementales ou autres.

La construction de procédure de RdG en ligne droite avec une altitude suffisante présente l'avantage de diminuer de manière importante la charge de travail de l'équipage et d'optimiser sa performance en facilitant la réalisation de cette dernière. Elle devrait être privilégiée.

6.8 Informations complémentaires

Prise en compte de la défaillance du CRM

L'étude a montré que la réalisation de la procédure de remise de gaz et la charge de travail associée peuvent dissocier les deux membres d'équipage pendant une durée trop longue. Tout écart de trajectoire est alors difficilement détectable par le PM. Il en va de même de la détection d'erreurs de manipulation du PM par le PF (rentrée des volets par exemple).

Jusqu'à présent, la défaillance du CRM a toujours été mise en avant comme facteur contributif, voire causal, aux accidents en RdG. Or l'analyse des événements récents montre que le concept du CRM a été mis en défaut alors qu'il fonctionnait correctement avant que n'intervienne un élément perturbateur. Les séances de simulation l'illustrent clairement. En réalité, toute surprise demande l'utilisation de ressources importantes et l'équipage se déstructure alors quasi-systématiquement.

Le CRM, nécessaire et incontournable en aéronautique, est particulièrement développé en Europe et en Amérique du nord. Cependant, il ne constitue plus une barrière de protection suffisante pour prévenir les nouveaux types d'accident résultant d'une perte de conscience de la situation à la suite d'un élément perturbateur. Certains aspects du CRM deviennent « *naturellement* » inapplicables dans ces scénarii, et pas seulement dans le strict cadre des accidents de type PARG.

Il faut donc aller au-delà du concept actuel de CRM et développer de nouveaux moyens et/ou méthodes de formation permettant d'aider les équipages à reprendre conscience de la situation dans laquelle ils se trouvent.

Enregistreurs d'images

L'étude a montré que l'utilisation de la vidéo était indispensable pour conduire une analyse correcte des séances de simulateur. Outre les communications non verbales, les enregistrements vidéo permettent de disposer de l'ensemble des informations présentées à l'équipage. Ainsi, dans le cadre des enquêtes de sécurité et à de nombreuses reprises, le BEA et ses homologues étrangers ont été confrontés à des difficultés techniques de compréhension de l'environnement du poste de pilotage nécessitant des expertises techniques longues, coûteuses et souvent non-conclusives. L'étude a montré que l'enregistrement vidéo de l'espace de travail des pilotes apporte une amélioration considérable à la compréhension des événements. Par ailleurs, installée dans un simulateur, il a été une source d'informations complémentaires utile lors des débriefings.

De plus, l'étude a démontré qu'un enregistrement vidéo limité à l'environnement extérieur et l'espace de travail des pilotes répond à la fois aux besoins d'une enquête et aux soucis légitimes du respect de l'intimité des pilotes. Pour cela, l'environnement filmé devrait exclure, autant que possible, la tête des pilotes lorsqu'ils sont assis dans leur position normale de pilotage.

Pour la compréhension des accidents et l'amélioration de la sécurité aérienne, il est indispensable d'imposer un enregistreur d'images à bord des aéronefs effectuant du transport public de passagers. Le BEA a émis cinq recommandations depuis 1994 sur ce sujet, notamment dans le cadre de l'enquête de l'accident du F-GZCP du 1^{er} juin 2009, sans aucun résultat concret à ce jour.

En ce qui concerne la formation des pilotes, l'étude a montré toute la plus value de l'utilisation d'un enregistreur d'images dans un simulateur. Lors des séances, les pilotes souhaitaient regarder la vidéo afin de se remémorer leurs actions et en tirer le maximum d'enseignements. Lors des débriefings, tous ont manifesté l'intérêt de disposer de cette information, dès lors qu'elle est utilisée et gérée par et pour des pilotes. Les enquêteurs n'ont pas noté de débats au sujet de la protection de la vie privée quant à la mise à disposition et l'utilisation de vidéos dans les simulateurs pour la formation des pilotes.

7 - CONCLUSION

Les événements de type PARG sont dus à une combinaison des facteurs suivants :

- une pression temporelle et une charge de travail élevées ;
- la surveillance inadaptée des paramètres primaires de vol lors des remises de gaz, en particulier sous l'effet d'une surprise ;
- la difficulté d'application du principe du CRM sous l'effet de surprise ;
- la surveillance insuffisante du PM ;
- le faible nombre de remises de gaz réalisées tous moteurs en fonctionnement par les équipages, tant en vol qu'au simulateur ;
- la représentativité insuffisante des simulateurs de vol ;
- la non-détection de la position du trim à cabrer par les équipages lors des remises de gaz ;
- les interférences de l'ATC ;
- l'inadéquation entre la construction des procédures de remise de gaz et la performance des aéronefs de transport public ;
- l'apprentissage du travail en équipage sur des avions peu représentatifs avant une première QT CS 25 ;
- les illusions somatograviques liées à une poussée excessive de certains aéronefs ;
- le manque d'évaluation du circuit visuel pendant la remise de gaz ;
- la tunellisation d'un membre d'équipage ;
- la difficulté de lecture et de compréhension des modes FMA ;
- au temps excessif passé par le PM à la manipulation du FCU/MCP.

8 - RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ

Rappel : conformément aux dispositions de l'article 17.3 du règlement n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident, un incident grave ou un incident. Les destinataires des recommandations de sécurité rendent compte à l'autorité responsable des enquêtes de sécurité qui les a émises, des mesures prises ou à l'étude pour assurer leur mise en œuvre, dans les conditions prévues par l'article 18 du règlement précité.

8.1 Formation des équipages

Surveillance des paramètres primaires de vol

L'analyse des accidents ou incidents graves en remise de gaz montre que les équipages concernés n'avaient souvent plus conscience des paramètres fondamentaux - assiette, poussée - ni de leur corrélation avec les variations de vitesse air et de vitesse verticale. La réalisation de la remise de gaz requiert un nombre d'actions élevé. Les équipages peuvent avoir des difficultés à identifier la priorité de leurs actions et peuvent s'éloigner de la surveillance continue de ces paramètres. La procédure et son enseignement ne prévoient pas de retour vers ces deux paramètres fondamentaux.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **I'AESA, en coordination avec les constructeurs, les exploitants et les principales autorités de l'aviation civile non européennes, s'assure que la formation à la remise de gaz intègre un enseignement explicitant la méthodologie de surveillance des paramètres primaires de vol, en particulier assiette, poussée puis vitesse. [Recommandation FRAN-2013-017]**

Evaluation du rôle du PM

La réalisation de la fonction de surveillance est primordiale mais peut s'avérer insuffisante pendant une remise de gaz. Lors de la réalisation des RdG étudiées, l'attention du PM est centrée sur les actions à réaliser et non sur leur surveillance. Il est donc nécessaire de porter un effort particulier lors de la formation initiale en MCC sur la fonction de surveillance du PM puis de l'évaluer lors des entraînements continus et périodiques.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **I'AESA, en coopération avec les autorités nationales de l'aviation et les principales autorités de l'aviation civile non européennes, s'assure, lors des entraînements continus et périodiques, que les organismes de formation et les compagnies aériennes accordent une importance accrue à l'évaluation et au maintien des capacités de surveillance des pilotes de transport public. [Recommandation FRAN-2013-018]**

Recommandations relatives au CRM

L'étude PARG a mis en évidence les difficultés de maintenir un bon niveau de CRM tout au long d'une remise de gaz. Les priorités du PF et PM sont différentes. Leur charge de travail respective limite leurs interactions et la surveillance mutuelle de leurs actions. Le CRM actuel, bien que fondamental, ne constitue plus à lui seul une barrière de prévention fiable en cas d'éléments perturbateurs. De manière générale, quel que soit le type d'accident, les conclusions des enquêtes pointent souvent une défaillance du CRM.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **I'AESA étudie les moyens techniques et réglementaires supplémentaires à mettre en œuvre pour prévenir les défaillances du CRM dans les situations de fortes charges de travail et/ou les situations inusuelles.** [Recommandation FRAN-2013-019]

Formation des équipages

Aujourd'hui, une remise de gaz est considérée comme une procédure normale. Néanmoins, l'étude a montré que sa rareté, sa gestuelle et sa complexité en termes de charge de travail rendaient cette procédure singulière. La remise de gaz est peu réalisée en opération et fait partie des manœuvres qui sont mal représentées en simulateur, notamment en l'absence d'un environnement ATC réaliste. La procédure de remise de gaz n'est donc pas une procédure normale mais une procédure particulière.

L'étude a montré que la formation des pilotes n'était pas en adéquation avec les scenarii d'accidents et d'incidents graves en remise de gaz, notamment lors des contrôles périodiques au simulateur. Le nombre de remises de gaz tous moteurs en fonctionnement est insuffisant et les scenarii utilisés sont souvent prévisibles. Le *PANS-TRAINING* (PANS-TNG) ne détaille pas de scenarii réalistes lors d'une remise de gaz.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **I'OACI améliore le PANS-TNG en détaillant des scenarii réalistes de formations basées sur les technologies et risques actuels ;** [Recommandation FRAN-2013-020]
- **I'OACI modifie les annexes appropriées en rendant obligatoire l'exécution dans un aéronef d'une remise de gaz tous moteurs en fonctionnement pour la délivrance d'une première qualification de type CS-25 ;** [Recommandation FRAN-2013-021]
- **I'AESA revoie les exigences réglementaires des entraînements initiaux et périodiques de façon à s'assurer que les remises de gaz tous moteurs en fonctionnement soient réalisés suffisamment fréquemment pendant la formation ;** [Recommandation FRAN-2013-022]
- **I'AESA revoie les exigences réglementaires relatives à la première qualification de type CS-25 afin de rendre obligatoire l'exécution dans un aéronef d'une remise de gaz tous moteurs en fonctionnement.** [Recommandation FRAN-2013-023]

Recommandations relatives aux enregistrements vidéo

Durant l'étude, l'utilisation de la vidéo s'est avérée indispensable pour conduire efficacement l'analyse des séances de simulateur. Outre les communications non-verbales, la vidéo a permis de disposer de l'ensemble des informations présentées à l'équipage. L'enregistrement de l'espace de travail des pilotes apporte donc une amélioration considérable. Installée dans un simulateur, il serait une source d'informations complémentaires utiles lors des débriefings équipages.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **I'OACI impose la mise en place d'un enregistreur d'images dans tous les simulateurs de vol FFS destinés au transport public et utilisables dans le cadre de la formation. [Recommandation FRAN-2013-024]**

8.2 Ergonomie et certification

Limitation de la poussée disponible

Lorsque la pleine poussée est utilisée lors d'une remise de gaz, une vitesse ascensionnelle excessive peut être très rapidement atteinte et rendre difficile la réalisation des actions de la procédure de remise de gaz. Elle peut, d'une part, être incompatible avec le temps nécessaire à la réalisation de la remise de gaz et, d'autre part, être une source d'illusions somatograviques qui ont déjà poussé des équipages à effectuer des actions à piquer inappropriées. Certains constructeurs ont déjà conçu un système permettant de limiter la poussée. L'objectif principal est de donner du temps aux équipages, de limiter les illusions sensorielles associées et les prises d'assiette excessives.

Aussi le BEA recommande que :

- **I'AESA, en coordination avec les principales autorités de l'aviation civile non européennes, amende le CS-25 de façon à ce que les constructeurs d'aéronefs mettent en place un dispositif supplémentaire lors de la remise de gaz permettant de limiter la poussée et de l'adapter aux conditions du vol ; [Recommandation FRAN-2013-025]**
- **I'AESA étudie, selon le certificat de type, la possibilité d'étendre rétroactivement cette mesure, dans le cadre du PART 26 / CS-26, aux aéronefs les plus performants déjà certifiés. [Recommandation FRAN-2013-026]**

Erreur d'engagement des modes de remise de gaz

L'étude a montré qu'il existe un conflit entre l'application de la poussée maximale et le contexte opérationnel qui ne nécessite que rarement cette application. Sur les aéronefs Airbus, la manette de poussée est principalement utilisée comme un sélecteur de mode et n'est généralement pas déplacée, sauf au décollage et à l'arrondi. Dans une phase de vol ou la charge de travail est élevée, des pilotes qualifiés commettent des erreurs de sélection de mode en remise de gaz à la fois lors de l'avancée en butée et/ou lors du recul vers le cran CLIMB pour Airbus. Des erreurs d'engagement de modes, telles qu'une confusion entre une action sur les palettes de remise de gaz («*palm switch* ») et le bouton de déconnexion de l'AT, ont aussi été mises en évidence sur les avions Boeing et ont également conduit à des incidents graves.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **Airbus et Boeing réévaluent les possibilités d'erreur liées à l'engagement du mode de remise de gaz ; [Recommandation FRAN-2013-027]**
- **les constructeurs d'aéronefs étudient des moyens à mettre en œuvre afin de détecter et corriger une mauvaise sélection de mode lors d'une remise de gaz. [Recommandation FRAN-2013-028]**

Gestion de la configuration de l'aéronef

La gestion de la configuration de l'aéronef par le PM est chronophage pendant la remise de gaz et se fait au détriment de la surveillance des paramètres primaires de vol.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **les constructeurs d'aéronefs étudient l'opportunité de simplifier la gestion de la configuration de l'aéronef, lors de la remise de gaz, afin d'augmenter la disponibilité du PM pour la surveillance. [Recommandation FRAN-2013-029]**

Etude du circuit visuel pour l'élaboration des procédures de remise de gaz par le constructeur

L'évaluation du circuit visuel des pilotes est fondamentale dans l'élaboration d'une procédure. Des outils, comme les systèmes oculométriques existent aujourd'hui pour en faire une analyse fine. L'étude approfondie du circuit visuel n'est pas formalisée. Or, elle-seule permet d'analyser finement des dysfonctionnements du travail en équipage.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **les constructeurs d'aéronefs étudient le circuit visuel des pilotes afin d'améliorer et valider leurs procédures, en particulier en ce qui concerne la remise de gaz ; [Recommandation FRAN-2013-030]**
- **l'AESA, en coopération avec les autorités internationales de certification introduise des critères de certification imposant l'étude du circuit visuel des pilotes dans l'élaboration des procédures définies par le constructeur. [Recommandation FRAN-2013-031]**

Représentation synthétique de l'environnement extérieur

La plupart des événements de type PARG se sont déroulés de nuit et/ou sans visibilité. La perte de références visuelles extérieures a certainement contribué à la perte de conscience de la situation lors de la remise de gaz. La possibilité de voir ou se représenter l'environnement extérieur permettrait probablement de diminuer le risque associé aux illusions somatograviques. Aujourd'hui, il existe déjà des systèmes de représentation synthétique en 3D de l'environnement extérieur.

Aussi le BEA recommande que :

- **I'AESA et les constructeurs d'aéronefs étudient l'efficacité de moyens permettant aux équipages de disposer d'une représentation synthétique de l'environnement extérieur en conditions IMC. [Recommandation FRAN-2013-032]**

8.3 Formation et ergonomie

Focalisation et dispersion excessive de l'attention au détriment des paramètres primaires

L'étude a montré l'importance primordiale de la surveillance du PM lors de la remise de gaz. Or, celui-ci peut avoir de grandes difficultés à surveiller tous les paramètres exigés par la procédure. Le circuit visuel des PM lors d'une remise de gaz n'est pas homogène pour une même procédure. Il révèle même une dispersion importante de l'attention. La formation ne prend pas suffisamment en compte ce problème. Des phénomènes de tunnelling ou de focalisation excessive sont susceptibles d'apparaître lors d'une remise de gaz.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **I'AESA, en coopération avec les autorités nationales de l'aviation civile et les principales autorités de l'aviation civile non européennes, s'assure que les risques liés à la dispersion et/ou focalisation excessives de l'attention lors de la RdG au détriment des paramètres primaires soient enseignés aux équipages ; [Recommandation FRAN-2013-033]**
- **à long terme, les principales autorités de l'aviation civile en coordination avec les constructeurs d'aéronefs et les exploitants définissent des moyens de contrer les phénomènes de focalisation excessive ; [Recommandation FRAN-2013-034]**
- **I'AESA, en coordination avec les constructeurs, les exploitants et les principales autorités de l'aviation civile non européennes, étudie l'opportunité d'étendre ces mesures à d'autres procédures requérant une charge de travail élevée dans un temps imparti court. [Recommandation FRAN-2013-035]**

Engagement des automatismes - Surveillance des modes affichés au FMA

L'étude a montré que le nombre de changements de modes FMA au cours de la remise de gaz peut être élevé. Il est difficile pour les membres d'équipage de détecter et de comprendre tous ces changements. Les procédures de remise de gaz ne peuvent pas être évaluées en s'appuyant uniquement sur l'hypothèse d'une assimilation des changements de mode FMA. La sélection d'un mode de guidage approprié, affiché au FMA, ne garantit pas, à lui seul, le suivi correct de la trajectoire. Les procédures de remise de gaz ne sont pas évaluées dans un contexte opérationnel réaliste.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **I'AESA s'assure que les autorités nationales de l'aviation civile vérifient, lors de leurs contrôles en vol et au simulateur, que la surveillance des modes d'engagement des automatismes par les pilotes soit correctement effectuée ; [Recommandation FRAN-2013-036]**
- **I'AESA, en coordination avec les principales autorités de certification non européennes, s'assure que les constructeurs d'aéronefs modifient l'ergonomie de façon à rendre plus simple l'interprétation des modes FMA et faciliter la détection de leurs changements ; [Recommandation FRAN-2013-037]**
- **I'AESA, en coordination avec les principales autorités de certification non européennes, s'assure que les procédures de remise de gaz conçues par les constructeurs et reprises par les exploitants soient évaluées dans un contexte opérationnel réaliste. [Recommandation FRAN-2013-038]**

Manipulation du FCU/MCP

Lors d'une remise de gaz, l'attention portée sur la manipulation du FCU/MCP peut atteindre de longues durées pendant lesquelles la surveillance de la trajectoire n'est plus assurée. La plupart des équipages manipulent le FCU/MCP en observant directement le résultat sur celui-ci et non pas sur les EFIS bien que cela ne corresponde pas aux pratiques recommandées.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **I'AESA, en coordination avec les autorités nationales de l'aviation civile, s'assure que les compagnies aériennes relevant de leur responsabilité insistent de nouveau en formation sur les bonnes pratiques de manipulation du FCU/MCP ; [Recommandation FRAN-2013-039]**
- **I'AESA s'assure que les constructeurs d'aéronefs améliorent, pour les nouveaux aéronefs, la conception du FCU/MCP et diminuent le temps nécessaire à son exploitation lors d'une remise de gaz, tout en évaluant l'impact de sa durée d'utilisation lors d'autres phases de vol à forte charge de travail. [Recommandation FRAN-2013-040]**

Remise de gaz et position du trim de profondeur

Une remise de gaz effectuée à faible vitesse avec une position du trim de profondeur inusuelle à cabrer a pu entraîner un décrochage et une perte de contrôle. Avant la remise de gaz, la vitesse a diminué et les systèmes de l'aéronef ont compensé cette perte de vitesse par un braquage du trim de profondeur à cabrer de plus en plus prononcé. En conséquence, les constructeurs d'aéronefs devraient développer des moyens permettant d'empêcher ce trim d'arriver et/ou d'être maintenu en position inusuelle lors d'une remise des gaz. Les équipages prêtent de moins en moins d'attention à la position du trim durant le vol. Il convient donc de les informer le plus en amont possible d'une diminution excessive de vitesse afin qu'ils évitent d'appliquer la pleine poussée avec une position inusuelle à cabrer du trim de profondeur.

En cas de prise d'assiette excessive à cabrer de manière incontrôlée, peu de pilotes connaissent la procédure de récupération (« *upset recovery* ») qui consiste à diminuer la poussée et/ou modifier la position du trim.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **I'AESA, en coopération avec les autorités nationales de l'aviation civile, les principales autorités de certification non européennes et les constructeurs, s'assure de la connaissance pratique par les pilotes de la conduite à tenir lors d'une remise de gaz à faible vitesse avec un trim de profondeur dans une position inusuelle à cabrer et évalue cette compétence ; [Recommandation FRAN-2013-041]**
- **I'AESA, en coopération avec les principales autorités de certification non européennes, impose la mise en place de moyens permettant aux équipages de prendre conscience d'une valeur de vitesse faible et, le cas échéant, empêche l'arrivée ou le maintien en position inusuelle à cabrer du trim de profondeur. [Recommandation FRAN-2013-042]**

8.4 Simulateurs

Représentativité des simulateurs et phénomènes d'illusions somatograviques

Les simulateurs ne représentent pas correctement le phénomène d'illusions sensorielles lors d'une remise de gaz. L'assiette et les accélérations présentes au simulateur ne sont pas celles ressenties au cours d'une remise de gaz réelle. Il n'existe pas de norme objective de qualification et d'évaluation de la représentativité des mouvements des simulateurs. Il semble toutefois techniquement possible d'améliorer la représentativité des simulateurs sur ce sujet. Les pilotes expérimentés effectuent peu de remises de gaz réelles et il est réglementairement possible que des copilotes nouvellement qualifiés n'aient jamais subi d'illusions somatograviques avant d'effectuer des vols réguliers en AEL. Lors de l'enquête sur l'accident du F-GZCP du 1^{er} juin 2009, le BEA avait déjà recommandé à l'AESA de :

- ***faire évoluer les bases réglementaires pour aboutir à un niveau de qualification supérieur des simulateurs afin d'en assurer une meilleure représentativité. [Recommandation FRAN-2012-045]***

Aussi, le BEA complète cette recommandation dans le cadre de cette étude et recommande que :

- **I'OACI s'assure que les constructeurs de simulateurs en coopération avec les constructeurs d'aéronefs améliorent la représentativité des simulateurs quant aux phénomènes d'illusions sensorielles, notamment pendant la remise de gaz. [Recommandation FRAN-2013-043]**

8.5 Gestion du trafic aérien (ATM)

Modification des trajectoires de remise de gaz par l'ATM

L'ATC peut modifier la trajectoire publiée d'approche interrompue au cours d'une manœuvre de remise de gaz. Les équipages peuvent alors être surpris, voire déstabilisés de devoir changer leur projet d'action au cours de la manœuvre. Les conséquences de ces changements peuvent être significatives, notamment en contrariant l'utilisation de certains automatismes et en augmentant la pression temporelle. Dans une phase de vol où la charge de travail est déjà très élevée, des actions supplémentaires contribuent à perturber le travail en équipage et notamment la surveillance du PM.

Aussi le BEA recommande que :

- **I'OACI définisse des normes et pratiques recommandées (SARPS) ou des procédures pour les services de la navigation aérienne (PANS) afin que les contrôleurs aériens s'abstiennent, sauf pour des raisons de sécurité, de donner des instructions contraires à la trajectoire d'approche interrompue publiée ; que, lorsque cela est nécessaire, les instructions soient annoncées aux équipages le plus tôt possible au cours de l'approche ; [Recommandation FRAN-2013-044]**
- **sans attendre les actions éventuelles de l'OACI, l'AESA, en coordination avec Eurocontrol et les autorités nationales de l'aviation civile, mette en place les mesures réglementaires limitant les modifications par rapport aux procédures d'approche interrompue publiées. [Recommandation FRAN-2013-045]**

Formation des contrôleurs et communications radiotéléphoniques de l'ATC

L'étude a montré que les échanges ATC entre le contrôleur et l'équipage lors d'une remise gaz perturbent les équipages mais que certains dialogues pourraient être différés. Dans le paragraphe 5.2.1.7.3.1.1 de l'Annexe 10, l'OACI prévoit, dans certaines phases de vol, qu'aucune transmission ne doit être faite à un aéronef. Ce n'est pas le cas pour l'approche interrompue.

Aussi le BEA recommande que :

- **I'OACI étende les dispositions de l'Annexe 10 à la phase de remise de gaz en exigeant que, sauf pour des raisons de sécurité, aucune transmission ne soit adressée à un aéronef lors d'une manœuvre d'approche interrompue tant que l'équipage n'a pas indiqué qu'il était de nouveau disponible ; [Recommandation FRAN-2013-046]**

- **l'AESA, en coordination avec Eurocontrol et les autorités nationales de l'aviation civile, s'assure que les risques associés aux transmissions et modifications de trajectoire pendant une remise de gaz soient pris en compte par les organismes de formation ATM ou les prestataires de services de navigation aérienne (ANSP) durant la formation initiale et les entraînements périodiques des contrôleurs aériens.** [Recommandation FRAN-2013-047]

Construction des procédures d'approches interrompues

Parmi les différentes possibilités de construction d'une approche interrompue, celle en ligne droite n'est pas privilégiée alors qu'elle pourrait faciliter le pilotage et l'utilisation des automatismes des aéronefs. Par ailleurs, l'altitude de remise de gaz publiée n'est pas, aujourd'hui, reliée aux performances des avions. La vitesse ascensionnelle de la plupart des avions modernes est élevée et doit même être limitée pour certains. Ainsi, le BEA a recensé des cas où l'altitude de remise de gaz publiée ne permet pas aux équipages de disposer du temps nécessaire - une minute environ - pour réaliser les actions prévues avant son interception. Or, l'étude a montré que le temps disponible lors de la remise de gaz est un facteur déterminant à sa réussite.

Aussi le BEA recommande que :

- **l'OACI indique que, durant la construction d'une procédure d'approche interrompue, les trajectoires d'approche interrompue en ligne droite doivent être privilégiées lorsque cela est possible ;** [Recommandation FRAN-2013-048]
- **l'OACI introduise, dans les SARPS ou PANS que, lors de la construction d'une procédure d'approche interrompue, la hauteur de la première contrainte verticale soit la plus haute possible au regard des performances des aéronefs de transport public effectuant une remise de gaz standard ;** [Recommandation FRAN-2013-049]
- **sans attendre, l'AESA en coordination avec Eurocontrol, prenne les mesures nécessaires afin de diffuser les avantages de sécurité issus des recommandations ci-dessus.** [Recommandation FRAN-2013-050]

Liste des annexes

annexe 1

Liste des événements de type PARG issus des différentes bases internationales

annexe 2

Grille de lecture des événements

annexe 3

Analyses statistiques des séances de simulateur

annexe 4

Sélection de témoignages issus du sondage

annexe 5

Dossier de vol type fourni aux équipages

annexe 6

Scenario réel joué au simulateur

annexe 7

Canevas d'entretien post simulation

BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

200 rue de Paris
Zone Sud - Bâtiment 153
Aéroport du Bourget
93352 Le Bourget Cedex - France
T : +33 1 49 92 72 00 - F : +33 1 49 92 72 03
www.bea.aero

