



Repos réduits et services étendus

Analyse de la problématique scientifique et opérationnelle

direction générale
de l'Aviation civile

direction des affaires
stratégiques et techniques

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

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

Décembre 2006

ANTHROPOLOGIE APPLIQUEE

45, rue des Saints-Pères 75270 PARIS Cedex 06
Téléphone : 01 42 86 20 41 - 01 42 86 20 39 - Télécopie : 01 42 61 53 80
E.mail : laa@biomedicale.univ-paris5.fr

L.A.A.

*Laboratoire d'Anthropologie Appliquée
(Equipe de E.C.A.S.S)*

SynRjy

*Conseils et Formations
en Facteurs Humains
en Aéronautique*

A.F.C.

Air France Consulting

* * *

ANALYSE DE LA PROBLEMATIQUE SCIENTIFIQUE ET OPERATIONNELLE LIEE AUX REPOS REDUITS ET AUX TEMPS DE SERVICE ETENDUS POUR LES PERSONNELS NAVIGANTS FRANÇAIS

* * *

LOT 5 : RAPPORT DE SYNTHESE

PROPOSITION DE MISE EN PLACE D'UN OBSERVATOIRE

FATIGUE - SECURITE

Version 1.1

SOMMAIRE

	Pages
1 - INTRODUCTION	1
2 - REVUE DE LITTERATURE	2
2.1 - Bilan de la documentation collectée	2
2.1.1 - Interrogation de bases de données.....	2
2.1.2 - Accès à des données complémentaires.....	5
2.2 - Résultats de la revue de littérature	5
2.2.1 - Publications	5
2.2.2 - Données complémentaires.....	10
2.2.3 - Synthèse.....	11
2.3 - Etudes EasyJet	11
2.4 - Revue sur les modèles prédictifs de la fatigue	14
2.5 - Analyse des incidents - accidents sur la fatigue en vols courts courriers	20
2.5.1 - Incident survenu le 23 Novembre 1997 à Orly : MD 83 exploité par la compagnie AOM	20
2.5.2 - Accident survenu le 12 Novembre 1999 au nord de Pristina (Kosovo) : ATR 42-300, exploité par la compagnie SI FLY.....	21
2.5.3 - Accident survenu le 19 Octobre 2004 à Kirksville (Missouri) : British Aerospace Jetstream BAE-J3201, exploité par la compagnie Corporate Airlines	22
2.6 - Evaluations de la performance opérationnelle	22
3 - PROPOSITION D'UNE METHODE D'EVALUATION	25
3.1 - Principe	25
3.2 - Cadre général pour définir la méthode	26
3.3 - Les contraintes génératrices de la fatigue	27
3.3.1 - Contraintes de privation de sommeil.....	28
3.3.2 - Contraintes liées aux vols.....	28
3.3.2.1 - <i>Contraintes dues aux rotations</i>	29
3.3.2.2 - <i>Contraintes opérationnelles</i>	29
3.3.3 - Support logistique.....	30
3.4 - L'astreinte pour les personnels navigants	32
3.4.1 - Eléments d'appréciation de l'état de fatigue des personnels navigants...	33
3.4.1.1 - <i>Techniques d'auto-évaluation de la fatigue</i>	33
3.4.1.2 - <i>Mesures psychophysologiques</i>	34
3.4.1.3 - <i>Données comportementales</i>	34
3.4.1.4 - <i>Entretiens</i>	35
	.../...

3.4.2 - Eléments d'appréciation de la charge de travail des personnels navigants.....	36
3.4.2.1 - <i>Techniques d'auto-évaluation de la charge de travail</i>	36
3.4.2.2 - <i>Mesures psychophysiologiques</i>	36
3.4.2.3 - <i>Données comportementales</i>	36
3.4.2.4 - <i>Entretiens</i>	37
3.5 -. Conséquences sur le résultat de la tâche et l'hygiène de vie des personnels	38
3.5.1 - Les conséquences sur la performance opérationnelle	39
3.5.1.1 - <i>Techniques d'auto-évaluation de la charge de travail</i>	39
3.5.1.2 - <i>Données objectives</i>	39
3.5.1.3 - <i>Données comportementales</i>	42
3.5.1.4 - <i>Entretiens</i>	42
3.5.2 - Les conséquences sur la sécurité	43
3.5.2.1 - <i>Techniques d'auto-évaluation de la sécurité</i>	43
3.5.2.2 - <i>Données objectives</i>	43
3.5.2.3 - <i>Données comportementales</i>	44
3.5.2.4 - <i>Entretiens</i>	45
3.5.3 - Les conséquences sur l'hygiène de vie et la santé des personnels.....	45
3.5.3.1 - <i>Techniques d'auto-évaluation</i>	45
3.5.3.2 - <i>Données objectives</i>	46
3.5.3.3 - <i>Données comportementales</i>	46
3.5.3.4 - <i>Entretiens</i>	46
4 - SYNTHESE DE LA DEMARCHE PROPOSEE	47
5 - CONCLUSION	48

* * *

1 - INTRODUCTION

L'étude porte sur une analyse de la problématique scientifique et opérationnelle liée aux temps de repos réduits et aux temps de service étendus pour les personnels navigants français.

Elle a été menée par un groupement constitué de trois équipes ayant des compétences complémentaires pour ce projet :

- le Laboratoire d'Anthropologie Appliquée (L.A.A.),
- la société SynRjy,
- Air France Consulting.

Les travaux se sont déroulés de la manière suivante:

- une revue de littérature sur la fatigue,
- des analyses concernant les incidents et les accidents dans lesquels la fatigue a été citée comme facteur contributif,
- une revue des modèles prédictifs de la fatigue,
- une première ébauche de démarche d'évaluation,
- le recueil des remarques auprès des représentants des compagnies aériennes (Air France, Britair, Régional Airline), de la FNAM et des syndicats (UFPL CNT, USPNT, SNPC et SNPL),
- la finalisation de la démarche dans un objectif de mise en place d'un Observatoire « Fatigue – Sécurité », cet observatoire reprenant les principes des « Fatigue Risk Management Systems » (FRMS) préconisés par l'OACI.

Le présent rapport détaille la revue de la littérature scientifique et incidentelle dans le domaine de la fatigue en transport aérien court-courrier puis présente une méthode permettant l'évaluation de ces problèmes avec une description des conditions pour conduire cette évaluation dans le contexte français.

2 - REVUE DE LITTÉRATURE -

Pour la revue de la littérature, l'étude a porté en priorité sur les publications scientifiques récentes dans des revues internationales. Elle a été complétée par des analyses de rapports techniques rédigés par des équipes de recherche reconnues sur le plan international pour leurs travaux dans le domaine de la fatigue en aéronautique ainsi que par des revues de documentations disponibles au LAA. ou encore transmis par des membres du Groupe de travail mis en place par la DGAC. Des travaux sur le travail posté, en dehors de l'aéronautique sont également mentionnés compte tenu de leur intérêt pour l'étude.

Les études récentes publiées par EasyJet, sont présentées séparément compte tenu de l'approche multicritère retenue, tant pour les aspects liés à la fatigue des pilotes qu'opérationnels. Une synthèse sur les modèles prédictifs de la fatigue est également intégrée dans l'étude en raison de leur intérêt pour la suite des travaux.

Pour la revue concernant les incidents et accidents pour lesquels la fatigue est citée comme facteur contributif, elle révèle un nombre très limité de cas pertinents pour l'étude. De même, les publications sur les évaluations de performance opérationnelle demeurent très limitées.

2.1 - Bilan de la documentation collectée -

2.1.1 - Interrogation de bases de données -

Le LAA dispose en interne de bases de données sur les aspects d'ergonomie (ERGODATA) et de santé et sécurité dans les transports (TRANSDATA). Il a de plus accès aux principales bases documentaires traitant des thèmes Facteurs Humains.

L'interrogation de ces différentes bases de données documentaires montre un nombre limité de publications concernant la fatigue des personnels navigants techniques (PNT) des vols court-courriers (tableau 1). Il est bien connu que les études sur la fatigue des équipages en aviation civile ont plus concerné les vols long-courriers que les vols court- et moyen-courriers, principalement en raison des caractéristiques particulières des vols long-courriers : décalage horaire, longue durée de vol, vols de nuit et monotonie pendant de longues périodes (croisière).

Les études prenant en compte les personnels navigants commerciaux (PNC) sont pratiquement inexistantes.

	Long-courrier	Court-Courrier
ISI Web of Knowledge	21	1
Academic Search	18	1
BIOSIS	5	1
Ergonomics Abstracts	5	2
Scopus	21	7
Taylor & Francis	5	0

Tableau 1.
Bilan de l'interrogation de différentes bases de données documentaires.

Compte tenu du faible nombre de publications, nous nous sommes pas limités aux publications des 10 dernières années comme prévu initialement mais nous avons recherché toutes les publications sur le thème de la fatigue dans le domaine du court-courrier. Par ailleurs, des rapports d'études non publiés dans des revues scientifiques ont pu être demandés à leurs auteurs directement (Spencer 2000 et 2002) ou bien téléchargés sur Internet (chapitre de thèse, Loh 2004).

Outre les 2 récentes publications sur l'étude EasyJet, qui sont analysées séparément, il a été collecté un ensemble de 11 publications dont la première date de 1986 (tableau 2). Les publications redondantes n'ont pas été considérées, comme celles de Gander concernant la même étude et portant toujours sur le même effectif de pilotes, mais publiées sous différentes références (articles, rapports...). Par ailleurs, l'étude du LAA sur les différences culturelles dans le vécu de la fatigue en aéronautique, publiée en 2005, est issue d'une étude plus ancienne (1999) et plus large (413 pilotes) dont une part de résultats cités dans l'analyse ci-après ne figure pas dans l'article publié mais plutôt dans le rapport d'étude. Afin d'éviter la redondance, cette étude n'est également citée qu'une seule fois.

Titre	Auteurs	Revue / Rapports/ Chapitre de thèse	Année
Assessing fatigue. A new NASA study on short-haul crew performance uncovers some misconceptions	Foushee, H.C.	Airline Pilot	1986
Sleep in pilots flying short-haul commercial schedules	Gander, P.H.; Graeber, R.C.	Ergonomics	1987
Trends on individual differences in response to short-haul flight operations	Chidester, T.R.	Aviation, Space and Environmental Medicine	1990
Crew factors in flight operations II : psychophysiological responses to short-haul air transport operations	Gander, P.H.; Graeber, R.C.; Foushee, H.C.; Lauber, K.L.; Connell, L.J.	NASA Technical Memorandum 108856. Moffett Field, California : NASA Ames Research Center	1994
Health, sleep, and mood perceptions reported by airline crews flying short and long hauls	Haugli, L.; Stogstad, A.; Hellesoy, O.H.	Aviation, Space and Environmental Medicine	1994
A diary study of aircrew fatigue in short-haul multi-sector operations	Spencer, M.B.; Robertson, K.A.	DERA report N° DERA/CHS/PPD/CR000 394, October 2000	2000
Early starts : Effects on Sleep, Alertness and Vigilance	Simons (M.), Valk (P.J.L.),	In : Proceedings of the fourth international conference on fatigue and transportation	2000
Aircrew alertness during short-haul operations, including the impact of early starts	Spencer, M.B.; Robertson, K.A.	QinetiQ Report N° QINETIQ/CHS/PPD/CR 010406/1.0, February 2002	2002
Fatigue in aircrew from short-haul flights in civil aviation: the effects of work schedules	Bourgeois- Bougrine, S.; Cabon, P.; Mollard, R.; Coblentz, A. ; Speyer, J.J.	Human Factors and Aerospace Safety. An International Journal,	2003a
Perceived fatigue for short- and long-haul flights : a survey of 739 airlines pilots	Bourgeois- Bougrine, S.; Cabon, P.; Gounelle, C.; Mollard, R.; Coblentz, A.	Aviation, Space and Environmental Medicine	2003b
Flight crew fatigue in Australian short-haul operations and methodologies for assessing fatigue in-flight	Loh, S.	PhD of Psychology, University of South Australia	2004
Cross cultural survey of fatigue effect on resource management.* *issue d'une étude plus large sur la fatigue (LAA-Airbus)	Bourgeois- Bougrine, S. ; Mollard, R. ; Speyer, J.J.	In : Proceedings of the International Conference on Fatigue Management in Transportation Operations.	2005

Tableau 2.
Bilan des études retenues pour la revue de la littérature

2.1.2 - Accès à des données complémentaires -

Des résultats provenant de données non publiées, extraites de rapports techniques, de notes de synthèse ainsi que d'un mémoire universitaire ont été pris en compte dans l'étude. C'est notamment le cas de l'étude menée par l'INRS à la demande de CHSCT de compagnies aériennes françaises.

En raison de son intérêt sur le thème de la fatigue en relation avec des levers précoces, une étude issue du transport terrestre a également été citée. Cette étude, menée par le L.A.A., a été publiée en 2000 dans les actes d'un congrès international sur la fatigue dans les transports.

2.2 - Résultats de la revue de littérature -

2.2.1 - Publications -

La synthèse ci-après concerne les onze documents cités précédemment et porte sur les échantillons concernés, les méthodes utilisées et enfin les principaux résultats (tableau 3). Pour des raisons pratiques, il a été attribué un numéro (selon un ordre chronologique croissant) à chaque étude afin d'éviter de citer à chaque fois la référence complète. Un résumé de chaque étude figure en annexe.

Sur l'ensemble des études analysées, six portent sur des pilotes de compagnies Européennes (n°4 à 9), trois sur des compagnies Américaines (n°1 à 3), une sur une compagnie Australienne (n°10) et enfin une étude internationale (n°11). Ainsi, les études les plus récentes et les plus nombreuses sont menées en Europe.

Les caractéristiques de rotations court-courriers réalisées, même si elles ne sont pas toujours décrites en détail, impliquent des prises de service matinales, souvent sur plusieurs jours consécutifs, avec plusieurs segments par jour. Il convient de noter que **la problématique des « nuits courtes » n'a fait l'objet d'aucune étude de manière directe et détaillée**. Elle est parfois citée en introduction d'un article ou d'un rapport, ou encore, lors de l'énumération des caractéristiques pénalisantes des rotations court-courriers. Une seule étude évoque la problématique de « finir tard et commencer tôt » dans une question lors d'une enquête sur la fatigue en aéronautique (n°11).

Les données recueillies sont principalement subjectives reposant sur l'utilisation de questionnaires, d'agendas de sommeil, d'échelles de fatigue ou de somnolence, d'évaluation de l'humeur, de la charge de travail et de la pénibilité des vols. La mesure de la performance a été réalisée soit sur simulateur (n°1) soit par le biais de tests de laboratoire (n°6) soit de façon subjective en utilisant une échelle renseignée par un observateur « expert » (n°3). Trois études ont utilisé l'actométrie pour évaluer le sommeil (n°2, 6,10) et pour une étude (n°2) l'activité cardiaque et la température interne ont été retenues comme mesures objectives.

Les méthodes d'étude consistent principalement à collecter les données à distance en distribuant les outils de recueil aux PNT (questionnaires, agendas...). Dans une seule étude (n°8), un observateur a participé à toute la rotation pour collecter les données et réaliser des observations en vol. Il est à noter que lorsque la méthode comprend l'utilisation exclusive de questionnaires ou bien d'agendas, les effectifs concernés sont plus importants que lorsque la méthode comprend plusieurs types de mesures ou bien un suivi objectif (actométrie, performance, observations en vol...).

Les résultats de la grande majorité des études (9 études sur 11) concernent bien évidemment la relation entre les caractéristiques des rotations court-courriers (horaires, nombre d'étapes, nombre de jours consécutifs d'engagement, durée de service et de vol...) et le vécu des PNT (sommeil, fatigue, humeur, pénibilité, performance...). Les deux études n'adressant pas cette problématique concernent :

- la relation entre les traits de personnalité et le vécu des PNT (n°3),
- les problèmes de santé rencontrés par les PNT (n°4).

La fatigue des PNT sur des rotations court-courriers apparaît liée principalement à la dette de sommeil occasionnée par les levers tôt. En outre, le nombre d'étapes réalisées par jour, la pénibilité des vols ("hassle"), la courte durée d'escale entre deux étapes augmentent le niveau de fatigue.

Les équipages des vols court-courriers connaissent pendant les rotations des perturbations de l'humeur et une consommation élevée de cigarettes, de café et d'alcool (n°2, 3). D'autres manifestations de la fatigue (n° 9 et 11) indiquent que pour le pilote lui-même, les manifestations restent relatives à la pression du sommeil alors que pour le coéquipier, elles sont plutôt perçues comme une dégradation des performances (erreurs, lapsus, mauvaise réception des messages radio...).

Les performances mesurées par le biais de tâches-test montrent une dégradation significative avant le vol et au « top of descent » lorsque la prise de service a lieu avant 6h. En revanche, lorsqu'elles sont évaluées sur simulateur, les performances des équipages fatigués sont meilleures que celles des équipages reposés. Les équipages fatigués ayant volé ensemble dans les trois derniers jours avant le test alors que les équipages reposés ne se connaissent pas, ceci suggère que la récente expérience de vol des équipages fatigués a permis de contrecarrer les effets de la fatigue.

Dans l'étude n°11, différentes rotations court- et moyen-courriers ont été proposées aux pilotes afin d'évaluer le degré de fatigue engendrée par ces rotations et le temps nécessaire de récupération. Les PNT devaient également indiquer la fréquence d'affectation à ces différentes rotations. Les résultats montrent que :

- plus la fréquence d'affectation est élevée, plus la fatigue et le temps de récupération sont importants,
- les vols court-courriers avec des réveils matinaux sur 4 à 5 jours successifs s'avèrent significativement plus fatigants que tous les autres types de rotations,
- les **rotations** impliquant une **fin de service tardive** et un **début tôt le lendemain** matin arrivent en **deuxième position**.

Références	Echantillon - Rotation	Méthode - données	Résultats
(1) Assessing fatigue. A new NASA study on short-haul crew performance uncovers some misconceptions Foushee, H.C. 1986	40 Pilotes (USA) 20 Reposés 20 fatigués	Scénario critique sur simulateur. Evaluation des performances (type d'erreurs)	Equipages fatigués ont eu de meilleures performances que les équipages reposés.
(2) Sleep in pilots flying short-haul commercial schedules ; Gander, P.H et al.1987	74 Pilotes (USA) Rotation de 3 ou 4 jours avec début matinal	Agendas de sommeil / activité / fatigue / humeur / alimentation / Activité cardiaque Actométrie Température interne	Privations de sommeil dues principalement au lever précoce. Perturbation de l'humeur. Mauvaise hygiène de vie. Activité cardiaque élevée pour le PF sous IMC.
(3) Trends on individual differences in response to short-haul flight operations. Chidester, T.R. 1990	468 pilotes (dont 106 mécaniciens) (USA) Rotation de 2 jours	Test de personnalité (JAS) Agendas de sommeil Evaluation de l'humeur Echelle de performance subjective Problèmes gastro-intestinaux	La dimension « irritabilité/impatience » semble être corrélée avec les difficultés de sommeil, les perturbations de l'humeur et les troubles gastro-intestinaux rencontrés.
(4)Health, sleep, and mood perceptions reported by airline crews flying short and long hauls. Haugli 1994	185 pilotes CC de SAS échantillon global : 1240 dont 783PNT et 565 PNC	Questionnaire :250 questions dont 44 sur les problèmes de santé	Fréquence élevée de sécheresse cutanée, mal au bas du dos, rhumes, fatigue, problèmes de sommeil.
(5)A diary study of aircrew fatigue in short-haul multi-sector operations. Spencer, Robertson 2000	156 Pilotes de KLM UK Rotation de 2 à 5 jours avec début matinal	Agendas de sommeil et d'activité. Echelle de fatigue -7 points- (Samn Perelli) échelle de « pression temporelle » -5 points- (évaluée par le degré de pénibilité du vol (hassle)	Fatigue élevée associée aux prises de service matinales, au nombre d'étape sup. à 2 et à la pénibilité des vols.
(6)Early starts : Effects on Sleep, Alertness and Vigilance Simons, Valk, 2000	6 pilotes de KLM. 2 périodes de 4-jours	Psion-3a Palmtop computer : sommeil, vigilance, performance (VigTrack task) Actométrie	La durée et la qualité de sommeil réduites pour les débuts de service avant 6h. Performances mesurées avant le vol et au « top of descent » sont dégradées lorsque la prise de service a lieu avant 6h.

<p>(7) Aircrew alertness during short-haul operations, including the impact of early starts. Spencer, Robertson 2002</p>	<p>157 Pilotes de bmi Rotation de 1 à 6 jours avec début matinal</p>	<p>Agendas de sommeil et d'activité Echelle de fatigue -7 points- (Samn Perelli) échelle de « pression temporelle » -5 points- (évaluée par le degré de pénibilité du vol (hassle))</p>	<p>La durée de sommeil se réduit en moyenne de 1 heure pour une prise de service entre 7 et 8 heures et de 2 heures pour une prise de service entre 6 et 7 heures idem 2000.</p>
<p>(8) Fatigue in aircrew from short-haul flights in civil aviation: the effects of work schedules S. Bourgeois-Bougrine et al, 2003 a</p>	<p>16 pilotes (France) 8 Rotations sur 4 à 7 jours Avec uniquement des vols M, uniquement vols AM ou mixtes (M/AM)</p>	<p>Agendas de sommeil Observations en vol Nasa TLX – échelle de fatigue, humeur questionnaires administrés par un observateur présent sur toute la rotation</p>	<p>Privations de sommeil dues principalement au lever précoce. Fatigue et charge de travail augmentent avec le nombre d'étapes. Pression temporelle à l'escale (35min).</p>
<p>(9) Perceived Fatigue for Short- and Long-Haul Flights: A Survey of 739 Airline Pilots S. Bourgeois-Bougrine et al, 2003 b</p>	<p>739 Pilotes (France) Tout type rotations</p>	<p>Questionnaire : causes, manifestations et stratégies de lutte contre la fatigue.</p>	<p>Causes : nombre d'étapes / levers matinaux. Dégradation de la performance (erreurs, baisse des com.). Gestion du sommeil et des siestes pour lutter contre la fatigue.</p>
<p>(10) Flight crew fatigue in Australian short-haul operations and methodologies for assessing fatigue in-flight. Loh 2004</p>	<p>21 pilotes (Qantas) Rotation de 1 à 3 jours.</p>	<p>Agendas de sommeil échelle de fatigue 7 points- (Samn Perelli) actométrie de sommeil</p>	<p>La fatigue au début d'un service est liée à l'heure matinale de prise de service (4h-7h). La fatigue à la fin du service est liée au nombre d'étapes et à la durée de service .</p>
<p>(11) Cross cultural survey of fatigue effect on resource management S. Bourgeois-Bougrine et al, 2005</p>	<p>206 Pilotes CC (internationale) Tout type rotations</p>	<p>Questionnaire : causes, manifestations et stratégies de lutte contre la fatigue. resource management : version adaptée de NASA/UA/FAA Line LOS checklist</p>	<p>La fatigue dégrade le comportement en cas de conflit et la conscience de situation. Les rotations avec « nuit courte » arrivent en 2ème position en terme de fatigue après les rotations avec plus de 3 levers matinaux consécutifs.</p>

Tableau 3.

Revue de la littérature scientifique dans le domaine de la fatigue en transport aérien court-courrier.

2.2.2 - Données complémentaires -

Une étude a été menée par l'INRS, entre 2000 et 2004, (M. François et al, 2004) sur les conditions de travail du personnel navigant, technique et commercial, en court- et moyen-courrier.

La problématique des repos réduits n'est pas spécifiquement adressée dans cette étude qui a porté sur 48 vols (dont 23 en vols du matin), mais il ressort dans le bilan de l'étude pour les situations évoquées comme préoccupantes par les personnels navigants:

- les conditions de réalisation du travail (39 % des réponses),
- la réalisation dans le travail (38 % des PNT et 35 % des PNC),
- la gestion du travail (23 % des PNT et 26 % des PNC) :
 - . PNT : organisation des plannings, horaires de travail,
 - . PNC : intensité du rythme de travail, **levers tôt**, amplitude des horaires.

Dans cette étude, les problèmes liés aux ambiances physiques sont également cités (niveau sonore élevé et faible hygrométrie) ainsi que les aspects de charge de travail (principalement pour les commandants de bord) et de stress (niveau très élevé pour 26 % des PNC).

Les autres sources d'informations identifiées concernent :

- une reprise dans une note d'information sur le sommeil (C. Monclus, 2002) des préconisations contenues dans le guide de recommandations rédigé en 1995 par le L.A.A. et édité par la DGAC (ce guide est accessible sur le site web de la DGAC),
- une étude sur le stress, les stratégies de coping et le burnout des PNC, dans le contexte d'un mémoire de maîtrise de psychologie à l'Université Paris 5 (P. Boutonnat, 2000).

Ces deux sources d'informations n'adressent toutefois pas directement la fatigue dans les vols court-courriers. Elles abordent soit les effets des privations de sommeil en aéronautique soit les effets du stress en relation avec les conditions de travail des PNC.

Une étude sur les effets d'horaires de travail décalés dans les transports urbains (S. Bourgeois et al., 2000) a également été analysée. A partir d'une enquête par questionnaires et agendas de sommeil auprès 114 conducteurs d'autobus, l'étude met en évidence l'importance de l'heure de prise de service matinal sur les dettes de sommeil et les effets sur l'augmentation de la somnolence pendant l'activité de conduite.

2.2.3 - Synthèse -

De la revue de littérature, il ressort que pour la fatigue en court-courrier :

- les privations de sommeil sont imputables aux levers précoces,
- la charge de travail est également un facteur contributif.

Les difficultés inhérentes aux levers tôt sont liées à l'inertie des rythmes biologiques : il est en effet plus difficile d'avancer ses heures de coucher que de les retarder.

Il est à noter que l'impact de la fatigue sur la performance opérationnelle peut être moins important que l'absence de connaissance mutuelle au sein de l'équipage.

Enfin, on doit mentionner que l'impact des coupures de service sur la fatigue n'a pas fait l'objet d'étude particulière.

Concernant le travail en horaires décalés d'une manière générale, on peut retenir quelques préconisations qui devraient être prises en compte dans l'élaboration des grilles de services :

- choisir un enchaînement des services selon le retard de phase (prise de service de plus en plus tardive),
- pas plus de 2 services pénibles consécutifs (notamment pour les services du matin),
- privilégier les changements fréquents de service pour éviter la désynchronisation des rythmes biologiques.

2.3 - Etudes EasyJet -

La compagnie EasyJet a mené en 2004 une étude intitulée "Project Blue" pour valider la mise en place d'un nouveau système de rotation des équipages au sein de la compagnie. Ce travail a fait l'objet de deux présentations lors du dernier congrès sur la fatigue en aéronautique à Seattle (Stewart et Abboud) 2005). L'objectif était de passer d'un système de rotation qualifié de "6-3" à un système de rotation de type "5-2-5-4" :

- "6-3" signifie 3 levers tôt, 3 couchers tard et 3 jours de repos,
- "5-2-5-4" signifie 5 levers tôt, 2 jours de repos, 5 couchers tard et 4 jours de repos.

A travers l'étude, la compagnie tenait à démontrer à l'autorité de tutelle, en l'occurrence la CAA, que le nouveau système de rotation n'entraînait pas de fatigue accrue des équipages ni de dégradation de leur performance opérationnelle.

Cette étude est particulièrement intéressante dans le cadre de la problématique étudiée pour les raisons suivantes :

- elle traite du temps de travail et de repos dans le contexte de rotations avec plusieurs étapes,
- elle décrit une méthodologie très complète de l'appréhension de la fatigue et de la performance opérationnelle,
- elle a mis en place un observatoire sur une durée minimale de 6 mois,
- les résultats ont permis de constituer un dossier auprès de l'autorité de régulation pour valider le nouveau cycle de rotation,
- le nouveau cycle de rotation a été accepté par l'autorité de régulation posant les bases de ce qui peut être le dossier de l'étude sur les repos réduits.

Pour valider le nouveau cycle de rotation, EasyJet a mis en place une méthodologie intitulée ORMA (Operational Risk Management Approach). ORMA consiste à instrumentaliser la fatigue, la performance des équipages et la sécurité des vols par un ensemble de méthodes. Ces méthodes ont été appliquées sur les deux types de rotation de façon à créer un véritable observatoire pour chacun d'eux afin de pouvoir les comparer. ORMA comporte les éléments méthodologiques suivants :

- le recueil des horaires des rotations au sein des secteurs étudiés de la compagnie au cours des 24 derniers mois,
- l'utilisation de modèles prédictifs de la fatigue comme SAFE et FAID pour évaluer les différents types de rotation de la compagnie,
- une analyse systématique des paramètres de vol (FDM) sur une période de 6 mois avec l'outil FLIDRAS (Flight Data Replay and Analysis System),
- un recueil des ASRS sur une période de 6 mois,
- une observation de 180 équipages en utilisant la méthodologie LOSA (Line Oriented Safety Assessment) pour identifier (i) les erreurs, (ii) les stratégies de détection et gestion des menaces et des erreurs et, (iii) les configurations non désirées de l'aéronef,
- des tests de performance cognitive,
- des agendas de sommeil,
- des évaluations subjectives par les équipages de leurs niveaux de fatigue,
- des évaluations objectives du cycle activité-repos par actométrie,

- des études de cas à partir des rapports ASRS et des analyses FDM où la fatigue était un facteur contributif et/ou causal,
- un état des arrêts maladies au cours des 12 derniers mois,
- une enquête par questionnaires auprès des pilotes de la British Airline Pilots Association (BALPA) sur l'acceptation du nouveau système de rotation.

Les résultats de cette étude ont mis en évidence plusieurs éléments qui au final, pour EasyJet, valident l'hypothèse que le système de rotation "5-2-5-4" est plus sécuritaire que le système existant "6-3".

Les points faibles du système de rotation "6-3" sont :

- une transition entre les vols lever tôt et coucher tard qui entraîne un double décalage brutal par rapport au rythme circadien (le lever tôt correspond à un décalage "en avant" alors que le coucher tard correspond à un décalage "en retard"). Sur le plan de la performance opérationnelle, ce double décalage se traduit par une augmentation significative des indicateurs de sécurité (nombre d'erreurs, événements détectés au FDM, configurations non désirées des aéronefs, moins de stratégies de détection et gestion des menaces et des erreurs) entre le 3ème et le 4ème jour, phase de transition entre les levers tôt et les couchers tard,
- sur le plan de la fatigue, une accumulation de fatigue qui s'accroît au fur et à mesure des 6 jours consécutifs de travail pour atteindre le maximum le 6ème jour.

Le système de rotation "5-2-5-4", appelé aussi par les auteurs de l'étude "slow wave", présente les avantages suivants :

- absence de double décalage entre le lever tôt et le coucher tard car il existe entre les deux, une période de repos,
- une continuité de travail de 5 jours au cours desquels la fatigue s'accumule mais dans des proportions moindres que dans le cycle "6-3" car d'une part, la durée est moins longue et d'autre part, il n'y a pas le double décalage au milieu puisqu'on reste toujours sur des levers tôt ou des couchers tard,
- en parallèle de la fatigue, les indicateurs de sécurité sont aussi meilleurs sur 5 jours consécutifs de travail dans le cycle "5-2-5-4" que sur les 5 premiers jours consécutifs de travail du cycle "6-3".

On notera que, quel que soit le cycle de rotation, le premier jour est toujours moins bon en terme de sécurité que les 2ème et 3ème jours, les indicateurs de sécurité augmentant devenant moins bons sur les 5ème et 6ème jours que pour le 1^{er} jour. On retrouve ici l'effet conjugué de la fatigue et de la familiarité de l'équipage pour expliquer les niveaux de sécurité observés :

- la fatigue dégradant la sécurité au fil du temps,
- le manque de familiarité la dégradant en début de rotation.

Par rapport à la problématique de l'étude, outre sa méthodologie très riche, cette étude apporte des données sur :

- les transitions lever tôt - coucher tard,
- la continuité de levers tôt et continuité de couchers tard,
- la continuité de jours de travail,
- la familiarité de l'équipage.

Par contre, elle n'apporte pas d'élément sur le coucher tard - lever tôt puisque les systèmes de rotation proposés par EasyJet n'en comportent pas.

2.4 - Revue sur les modèles prédictifs de la fatigue -

Il existe de nombreux logiciels permettant d'évaluer le risque de fatigue associé aux horaires de travail :

- Representation and Analysis of Schedules (*RAS* ; J. Gartner),
- Two-process Model (P. Achermann, AA. Borbely),
- Fatigue Avoidance Scheduling Tool (*FAST* ; S. Hursh),
- Circadian Alertness Simulator (*CAS* ; M. Moore-Ede, A.Heitmann, U.Trustschel, R. Guttkuhn),
- Sleepwake Predictor (T. Akerstedt, S. Folkard, C.Portin),
- System for Aircrew Fatigue Evaluation (*SAFE* ; M.Spencer),
- Fatigue Audit InterDyne (*FAID* ; D. Dawson, A. Fletcher, G. Roach),
- Interactive Neurobehavioural Model (M.E. Jewett, R.E. Kronauer).

Ces outils ont fait récemment l'objet de communications à un congrès sur les modélisations de la fatigue et de la performance (Fatigue and Performance Modeling Workshop, June 13-14, 2002, Seattle). Les actes de ce congrès ont fait l'objet d'un numéro spécial de la revue Aviation Space and Environmental Medicine (Vol. 75 No3, Section II, March 2004).

La majorité des outils d'évaluation de la fatigue et de la performance associées aux horaires de travail reposent sur le modèle mathématique d'autorégulation du sommeil de Borbely (Borbely A.A. A Two-process Model of Sleep Regulation. *Human Neurobiology* 1 : 195-204, 1982).

Le tableau 4 ci-après décrit brièvement ces modèles et un chapitre est réservé à SAFE qui est développé spécifiquement pour le domaine aéronautique et sa mise à jour récente en fait le seul à être adapté au court-courrier.

Modèles	Descriptions des logiciels
Two-process	Le modèle initial a subi plusieurs transformations grâce aux travaux de Borbely et d'Achermann. Le logiciel est destiné aux chercheurs et permet de prédire la vigilance à partir des cycles activité-repos.
FAST	<p>Selon les auteurs, il est destiné à offrir aux responsables de planification des horaires, un outil convivial afin de prédire la performance cognitive ou l'efficacité d'opérateurs entre 20 et 55 ans pour tous types d'horaires de travail, avec ou sans privations de sommeil. Evaluation de l'adaptation de l'horloge biologique au décalage horaire après un vol transmérien et lors d'un travail en horaires décalés.</p> <p>Ce logiciel repose sur un modèle mathématique, développé par Hurch, connu sous le nom de Sleep, Activity, Fatigue, and Task Effectiveness (SAFTE).</p> <p>Afin de prédire la performance cognitive, FAST nécessite comme entrée le planning des horaires de travail. Il peut également prédire la performance de manière rétrospective en intégrant des données de sommeil recueillies par agendas de sommeil ou actométrie.</p>
CAS	<p>Permet d'évaluer le risque de diminution de la vigilance au travail. Selon ses auteurs il peut être utilisé pour : établir le risque de fatigue opérationnelle, optimiser l'organisation des horaires de travail et rechercher l'implication de la fatigue dans la survenue d'accidents.</p> <p>Le logiciel simule les périodes de sommeil, la vigilance et l'accumulation de la fatigue en fonction des horaires de travail saisis en entrée. Il peut également réaliser les simulations de la vigilance à partir de données réelles de sommeil.</p>
Sleepwake Predictor	<p>Le modèle prédit principalement les variations de la vigilance au cours du temps. Le logiciel peut également calculer le pourcentage de temps de travail avec un niveau de somnolence au-dessus de la zone critique. Ce dernier aspect résume le niveau de risque associé à un type d'horaire donné. La courbe de performance comprend les temps de réaction, le pourcentage de somnolence dans des tests de vigilance et le nombre d'incidents et d'accidents lors de la conduite sur simulateur.</p> <p>Le logiciel requiert principalement comme entrée la saisie des horaires de travail. Il génère automatiquement les plages horaires du sommeil associé. Des paramètres optionnels peuvent être pris en compte en entrée du modèle tels la durée et la plage horaire habituelles de sommeil, les différences individuelles (caractère « matin-soir ») et le décalage horaire.</p>

<p><i>FAID</i></p>	<p>Le modèle Il permet de prédire la fatigue à partir des horaires de début et de fin de service. Les niveaux de fatigue et de récupération pendant les périodes « travail/hors-travail » sont fonction de la durée de ces périodes, de leurs plages horaires et du délai depuis leur occurrence (recency). Le score de la fatigue prédit par FAID correspond à une fonction algébrique des valeurs de fatigue et de récupération au cours des 7 derniers jours. Ces valeurs sont pondérées selon le délai de leur occurrence avec une contribution au score de la fatigue plus importante des périodes de travail et de repos les plus récentes</p>
<p>Interactive Neurobehavioural</p>	<p>Les prédictions du modèle concernent les niveaux de vigilance et de performance ainsi que la phase de l'horloge biologique et l'impact de contre-mesures spécifiques. Les éléments en entrée du modèle sont : les cycles activité-repos, les niveaux d'éclairements et le temps alloué au sommeil. En outre, d'autres paramètres optionnels peuvent être considérés en entrée : l'heure habituelle du réveil, la durée du sommeil et la phase de l'horloge biologique. Le logiciel peut utiliser les données de sommeil et d'éclairement issues d'actomètres munis de cellule photoréceptrice.</p>

Tableau 4.

• Description du logiciel System for Aircrew Fatigue Evaluation (*SAFE*) -

Cet outil a été développé par M. Spencer de QinetiQ avec le soutien des autorités de l'aviation civile du Royaume-Uni (CAA). D'après l'auteur, il est utilisé par la CAA, par le groupe ECASS et par diverses compagnies aériennes afin d'évaluer les rotations des PNT et de prédire la fatigue liée aux vols long- et court-courriers.

SAFE repose principalement sur le modèle CHS, développé par Spencer, qui correspond à une adaptation du modèle de Borbely.

Les paramètres en entrée comprennent les horaires des vols, les lieux d'arrivée et de départ, le nombre de pilotes et la disponibilité d'aires de repos en vol. Les prédictions du modèle CHS concernent :

- les variations de la vigilance à tout moment du vol, ces variations sont représentées graphiquement selon un code coloré,
- le degré de décalage de l'horloge biologique par rapport à l'horaire de la base.

Par ailleurs, les périodes de sommeil en vol pour les équipages renforcés peuvent être prédites par le modèle CHS et la charge de travail en utilisant la courbe établie par de Nicholson. Enfin, une analyse complémentaire des rotations permet d'évaluer le nombre des écarts par rapport aux règles du JAR-OPS sous partie Q.

Les résultats des différentes analyses peuvent être présentés individuellement ou synthétisés dans un tableau récapitulant le nombre et la sévérité des problèmes associés à un planning selon les trois types d'analyse : chaque période de service est divisée en trois parties ou cellules correspondant respectivement à l'analyse selon le JAR-OPS, la charge de travail et les prédictions du modèle CHS. Un code coloré est adopté pour les cellules indiquant l'existence ou non d'aspects critiques ainsi que la sévérité des problèmes rencontrés :

- vert clair : l'analyse n'a pas été réalisée,
- vert foncé : il n'y a pas de problèmes pour le planning considéré,
- orange : problème mineur (uniquement pour les résultats du CHS),
- rouge : problème sérieux / transgression (écart important par rapport au JAR-OPS).

- Base théorique -

- Le modèle CHS -

Il comprend les trois composantes : homéostasique, circadienne et inertie de sommeil. Il a fait l'objet de plusieurs évolutions à la suite des validations menées dans le domaine de l'aviation civile, notamment au sein de ECASS.

Le modèle reposait initialement sur une série de données issues d'expérimentations en laboratoire explorant les effets des horaires irréguliers de travail sur les performances. Les protocoles expérimentaux étaient destinés à étudier différentes organisations des horaires de travail et de repos en évitant les privations totales de sommeil.

Les résultats indiquent que les deux principaux facteurs influençant les performances étaient l'heure de la journée (processus circadien) et le délai depuis le dernier sommeil. La composante circadienne présente un pic vers 18h et un creux 12 heures après, soit en fin de nuit et tôt le matin. Le facteur relatif au sommeil est lui-même une combinaison des deux facteurs suivants :

- l'augmentation transitoire de la vigilance qui survient immédiatement après le réveil (inertie du sommeil),
- la diminution exponentielle de la vigilance au cours d'une période continue d'éveil (processus S).

Les deux facteurs, relatifs au sommeil et au processus circadien, n'opèrent pas de manière isolée mais présentent un effet cumulatif sur la vigilance. Ainsi lorsque le sujet commence son service tôt le matin, le faible niveau de vigilance lié au processus circadien est contrecarré par le court délai depuis le réveil.

La vigilance prédite par le modèle CHS variait initialement sur une échelle de 0 à 100 correspondant respectivement au niveau le plus faible et le plus élevé de vigilance, qui peut être atteint théoriquement. Actuellement, l'échelle de vigilance est associée à un code coloré variant entre vert pour « en forme » (*alert*), jaune et rouge pour le niveau de fatigue le plus élevé (*most fatigued*).

Des fonctions de transfert ont été développées pour transformer les données de vigilance en données de performance pour différentes tâches (test de poursuite, tâche de vigilance visuelle, test de mémoire et la batterie de test MAT (Multi Attribute Task). Ces fonctions reposent sur la comparaison statistique (régression linéaire) des prédictions du modèle CHS et les résultats de plusieurs expérimentations en laboratoire menées à QinetiC. Ainsi, il est possible d'obtenir le niveau de performance à une tâche donnée selon le niveau de vigilance prédit.

La vigilance prédite par le modèle CHS s'est révélée peu précise lors de son application à des données issues de vols réels, collectées par une autre équipe de ECASS (A. Samel du DLR). Il s'en est suivi plusieurs mises à jour prenant en compte des facteurs pertinents pour le milieu aéronautique.

Dans sa version actuelle, les prédictions de SAFE se trouvent modulées par les éléments suivants :

- le nombre de vols compris dans une durée de service,
- la durée de la tâche (*Time on task*),
- l'accumulation de la fatigue sur plusieurs périodes consécutives de service,
- les départs matinaux (avant 9h),
- le sommeil diurne ou dans une plage horaire inhabituelle,
- l'estimation du sommeil en vol pour les équipages renforcés. La durée de la période de repos en vol est estimée à un tiers de la durée de la croisière pour un équipage à 3 pilotes et à un quart pour un équipage à 4 pilotes.

L'évaluation des effets de la traversée rapide de nombreux fuseaux horaires repose sur la modélisation de la dynamique du processus circadien (assimilée au comportement d'un oscillateur van der Pol) et l'action de forces externes correspondant à la fois à l'heure locale et au cycle veille-sommeil. Les paramètres de ces différentes composantes sont issues des résultats de nombreuses études en laboratoire.

- La courbe de Nicholson -

Elle repose sur les observations réalisées sur un pilote de vols long-courriers pendant 18 mois d'opérations vers l'est et vers l'ouest. Les perturbations du sommeil induites, chez ce pilote, par les horaires irréguliers des vols et les décalages horaires ont conduit Nicholson à proposer une courbe logarithmique des limitations des périodes de service. Il suggère que 50 heures de durée de service restent acceptables sur une période de 7 jours mais que le maximum doit être 72 heures sur une période de 14 jours et 120 heures sur 28 jours. En d'autres termes un niveau élevé de durée de service sur une période courte ne peut pas être soutenu sur une longue période.

D'après Spencer, même si aucune validation formelle de la courbe de Nicholson n'a été réalisée, l'expérience des opérations aériennes civiles et militaires occasionnant des perturbations du sommeil suggère que ces limites de périodes de service restent raisonnables. Ces limitations ont été implémentées dans le logiciel SAFE et sont applicables aux vols long- et court-courriers. Elles ne sont pas valables pour les situations de travail n'induisant pas de perturbations du sommeil.

- Adaptation aux vols court-courriers -

Les résultats des études de QinetiQ en 2000 et 2002 indiquent que le niveau de vigilance est influencé par :

- la pénibilité des vols (level of hassle),
- le nombre de segments au-delà de 2,
- l'heure de la journée,
- la durée de la durée de service,
- les débuts de service avant 9 h,
- services sur plusieurs jours consécutifs.

La nouvelle version du logiciel intègre tous ces facteurs à l'exception de la pénibilité des vols.

2.5 - Analyse des incidents - accidents sur la fatigue en vols courts courriers -

Il a été réalisé une analyse des cas d'incidents et d'accidents pour lesquels la fatigue de l'équipage a été citée comme une cause contributive au cours de l'enquête. Les recherches ont été réalisées sur les sites du BEA (<http://www.bea-fr.org/>) et du NTSB (<http://www.nts.gov/>). On peut noter qu'il y a assez peu de cas qui l'évoquent. En effet, une interrogation sur la base du BEA (ECCAIRS) depuis 1995 ne fournit que 44 résultats en aviation générale et 10 résultats en transport public, avec seulement un incident pertinent pour la problématique des nuits courtes et des repos réduits (Orly, 23 novembre 1997) et un accident intéressant (Pristina, 12 novembre 1999). L'interrogation de la base du NTSB depuis 2004 fournit 11 accidents et incidents, avec un seul accident pertinent (Kirksville, 2004).

2.5.1 - Incident survenu le 23 Novembre 1997 à Orly : MD 83 exploité par la compagnie AOM -

En approche finale ILS, le commandant de bord a effectué une remise de gaz en IMC alors que l'avion passait la radioborne extérieure. Les conclusions de l'enquête du BEA ont rapporté que l'incident était dû à la décision de mettre l'avion en descente alors que, à la suite d'une erreur d'affichage, celui-ci n'était ni sur l'axe d'alignement de piste ni sur le plan de descente et ceci sans avoir fixé de cadre à cette manœuvre improvisée.

L'état de fatigue du commandant de bord (CDB) a été cité dans les autres facteurs contributifs. L'analyse de ses cycles activité-repos montre qu'il présentait au cours de ce vol un niveau important de fatigue lié à la fois aux amplitudes de service et à la nature des vols réalisés en tant qu'instructeur.

Plus particulièrement, on peut relever 5 nuits courtes dans les 4 semaines précédant l'incident et 2 nuits courtes dans les 7 derniers jours, dont une dans la nuit précédant l'incident (Figure 1).

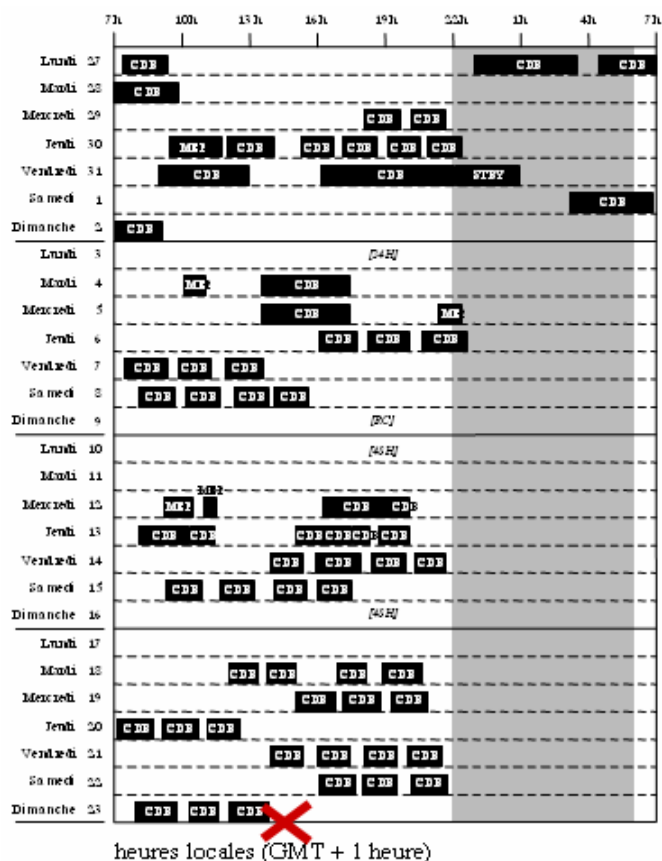


Figure 1 :
Grille de rotation du CDB pour les 4 semaines précédant l'incident

2.5.2 - Accident survenu le 12 Novembre 1999 au nord de Pristina (Kosovo) : ATR 42-300, exploité par la compagnie SI FLY -

Cet accident a eu lieu dans un contexte particulier puisque l'appareil était affrété par le Programme Alimentaire Mondial. Il a décollé de Rome avec à son bord 3 membres d'équipage et 21 passagers. L'avion a heurté le relief d'une montagne à environ 15 mètres du sommet au nord de l'aérodrome de Pristina. Tous les passagers à bord sont décédés.

Le BEA a avancé que cet accident était dû à un travail d'équipe manquant de rigueur et de vigilance lors d'évolutions dans une région montagneuse et par situation de mauvaise visibilité, au maintien de l'avion sur sa trajectoire par un contrôleur peu habitué à l'environnement et à la fragilité de l'exploitant (entreprise jeune et fortement tributaire du contrat d'affrètement, favorisant le non-respect des procédures).

La fatigue de l'équipage, avec pour conséquence une baisse de leur vigilance, a été citée comme facteur contributif dans cet accident. L'équipage a en effet subi une forte charge de travail dans les 5 jours précédents, avec une prise de service à 06h30 les 10 et 11 novembre. Le commandant de bord présentait de plus des facteurs aggravants avec des fins de services relativement tardives et une très longue journée de service le 10 novembre (amplitude de 14h30), suivie de 5 vols le lendemain.

2.5.3 - Accident survenu le 19 Octobre 2004 à Kirksville (Missouri) :
British Aerospace Jetstream BAE-J3201, exploité par la compagnie
Corporate Airlines -

L'appareil a percuté des arbres et s'est écrasé sur la piste au cours d'une approche de nuit. Les 2 pilotes et 11 des 13 passagers sont décédés dans l'accident, les 2 autres ont été gravement blessés. L'enquête du NTSB a déterminé que le pilote n'avait pas suivi correctement les procédures lors d'une approche de nuit en IMC. L'appareil est descendu en dessous du MDA (minimum descent altitude) avant les repères visuels appropriés. Le comportement non professionnel du pilote au cours du vol et son niveau de fatigue ont été cités comme des facteurs contributifs au cours de l'enquête.

L'étude des horaires de l'équipage rapporte une privation de sommeil, avec des levers précoces pour le pilote et le co-pilote (respectivement 04h10 et 04h30). L'accident est survenu au cours du 6^e segment de la journée, alors que le pilote était éveillé depuis 15 heures.

2.6 - Evaluations de la performance opérationnelle -

La publication en 2005 « Mesure objective de la performance du pilote » par Johnson et Rantanen, University of Illinois at Urbana-Champaign, Aviation Human Factors Division Savoy, Illinois, USA, fait une revue des paramètres trouvés dans la littérature, liés à la performance du pilote.

Il ressort que la mesure indirecte de la performance du pilote est fondée sur une combinaison de mesures directes des paramètres de vols et de mesures dérivées de ces paramètres.

Les mesures directes sont les valeurs instantanées des paramètres de vols, par exemple, de l'altitude ou de l'assiette. Les mesures dérivées sont des calculs mathématiques ou statistiques, comme par exemple l'écart-type des valeurs de l'altitude ou les moyennes des valeurs de l'assiette. La performance du pilote peut être liée indirectement, par exemple, à l'écart-type de l'altitude pour divers niveaux de vol.

Le Tableau 5 montre les variables mesurables identifiées dans la littérature, la fréquence de leurs rencontres, le pourcentage individuel et cumulé.

Parameter	Freq.	%	Cum. %
Altitude	21	12.88	12.88
Airspeed	19	11.66	24.54
Roll	17	10.43	34.97
Control Inputs	17	10.43	45.40
Heading	16	9.82	55.21
Pitch	16	9.82	65.03
Vertical Speed	11	6.75	71.78
VOR Tracking*	8	4.91	76.69
Yaw	5	3.07	79.75
Turn Rate	5	3.07	82.82
Glide Slope Tracking	5	3.07	85.89
Flaps	4	2.45	88.34
Trim	4	2.45	90.80
Sped Brakes	3	1.84	92.64
Sideslip	3	1.84	94.48
Landing Gear	3	1.84	96.32
Acceleration	3	1.84	98.16
Position	2	1.23	99.36
NDB tracking**	1	0.61	100.00

*VOR = Very High Frequency Omnidirectional Range

**NDB = Non-Directional Beacon

Tableau 5 : Paramètres de vols pour la performance du pilote

On constate que les paramètres Altitude, Vitesse, Roulis, Actions sur les commandes, Cap et Assiette constituent ensemble 65% de tous les paramètres mesurés.

Le choix d'un de ces paramètres de vol à mesurer pourra se faire en fonction non seulement de sa pertinence par rapport à un critère de performance suivi, mais aussi en fonction de la facilité de mesure en conditions réelles ou de simulation de vols.

Le Tableau 6 montre les mesures statistiques ou mathématiques dérivées des paramètres de vols trouvées dans la littérature, la fréquence de leurs rencontres, le pourcentage individuel et cumulé.

Derivative Metric	Freq.	%	Cum. %
RMSE*	16	21.92	21.92
StdDev**	8	10.96	32.88
Max/min	8	10.96	43.84
Mean	6	8.22	52.05
Frequency Analyses	5	6.85	58.90
Range	5	6.85	65.75
Deviation from criterion	4	5.48	71.23
Time on target	4	5.48	76.71
Mean absolute error	3	4.11	80.82
Autocorrelation	3	4.11	84.93
Time outside tolerance	3	4.11	89.04
Median	2	2.74	91.78
ND***	2	2.74	94.52
Boolean	1	1.37	95.89
Correlation	1	1.37	97.26
Moments	1	1.37	98.63
MTE****	1	1.37	100.00

*RMSE: Root Mean Square Error

**StdDev: Standard Deviation

***ND: Number of deviations outside the tolerance

****MTE: Mean time to exceed tolerance

Tableau 6 : Mesures dérivées de paramètres de vols

On peut noter l'importance de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) suivie de l'écart-type (StdDev), des valeurs extrêmes (Max/min) et moyennes (Mean).

De la revue de la littérature : on peut identifier trois approches pour la réduction du nombre de paramètres à prendre en compte :

- Hitchcock and Morway (1968) : méthode statistique combinant plusieurs variables lors d'une simulation de pénétration de turbulences : G-loading, angle-of-attack variation, airspeed deviation.
- Bortolussi and Vidulich (1991) : Figure Of Merit (FOM) de performance du pilote à partir de la moyenne et de l'écart-type de différentes variables : control inputs, altitude, airspeed, heading.
- Johnson and Rantanen (2005) : méthode hiérarchique fondée sur l'utilisation des liens naturels entre différents paramètres de vols à travers la structure hiérarchique des objectifs du pilote.

3 - PROPOSITION D'UNE METHODE D'EVALUATION -

3.1 - Principe -

Au vu des méthodes identifiées dans la revue de littérature, il paraît pertinent de proposer une démarche reprenant le principe de FRMS dont s'est inspiré EasyJet pour évaluer de nouvelles rotations. La méthode destinée à alimenter un **Observatoire «Fatigue – Sécurité » pour les vols court-courriers** doit reposer sur les principes suivants :

- la méthode doit permettre une comparaison des rotations avec et sans services incluant des repos réduits et/ou des temps de service étendus,
- l'approche doit être multicritère, avec une période de suivi sur une durée de 12 mois, afin notamment de tenir compte des variations de trafic et de conditions météo,
- pour mener l'évaluation, il convient s'appuyer sur :
 - . l'utilisation d'un **modèle prédictif de la fatigue** à appliquer aux données concernant **des services réels effectués** (analyse rétrospective de plannings sur une période de 12 mois) pour caractériser la pénibilité des rotations en termes de perturbations du sommeil et des rythmes biologiques (rotations critiques) : on dispose ainsi d'une évaluation des contraintes inhérentes à l'enchaînement des cycles activité-repos des plannings, ce qui permet de choisir ceux qui sont à suivre dans le recueil systématique et les observations ciblées en raison de la présence de séquences de rotations critiques,
 - . un **recueil systématique** sur 12 mois (pour les plannings/rotations retenus) : FDM et horaires effectivement réalisés, ASRs pour la période considérée de recueil, indicateurs de santé (absentéisme,...), diffusion de questionnaires auprès des équipages concernés,
 - . **observations ciblées** : états de fatigue des PN, évaluations de charge de travail et de difficulté du vol, activités des PN en relation avec le contexte des vols, entretiens,...pour un échantillon de 30 PN sur des durées de 10 jours (pour chacun des plannings/rotations retenus).

Il est à noter que le choix initial des plannings/rotations pour mener l'analyse rétrospective devra se faire en fonction de critères permettant des comparaisons objectives : nombre d'heures mensuelles d'activités, nombre de services avec repos réduits et/ou nombre de « services étendus », nombre de services consécutifs sans repos, nombre de repos consécutifs, ... en se rappelant que les modèles prédictifs de la fatigue ne sont pas prévus pour intégrer des aspects autres que ceux relevant des planifications des périodes d'activité et de

repos ; les destinations des vols, le type d'avion piloté, la nature des escales,...et tout autre élément susceptible d'influer sur la fatigue des équipages doivent donc être pris en compte dans la méthode soit au niveau du suivi systématique soit au niveau des observations ciblées.

Les éléments potentiellement critiques pour un planning peuvent par exemple concerner tout ou partie de ces critères :

- temps de service mensuel entre 80 et 100% du maximum légal,
- présence de séries de repos réduits coucher tard-lever tôt (5/3, 3/3, 4/4),
- présence de services étendus,
- séquence de + de 5 rotations consécutives sans périodes de repos.

Par ailleurs des différences dans la sensibilité à la fatigue peuvent exister en fonction de l'âge ou de l'expérience, celle-ci sont à prendre en compte dans le suivi systématique ainsi que dans la constitution de l'échantillon de PN faisant l'objet d'observations ciblées : représentation des différentes classes d'âges, des qualifications, du genre.

Le cadre général pour définir la méthode, décrit ci-après, permet d'avoir une vision plus détaillée sur la manière dont doivent être collectées les données pour prendre en compte :

- les différents facteurs contributifs de la fatigue des équipages,
- les manifestations de cette fatigue chez les PN,
- les impacts de cette fatigue pour ce qui concerne les aspects opérationnels, la sécurité des vols et la santé des personnels.

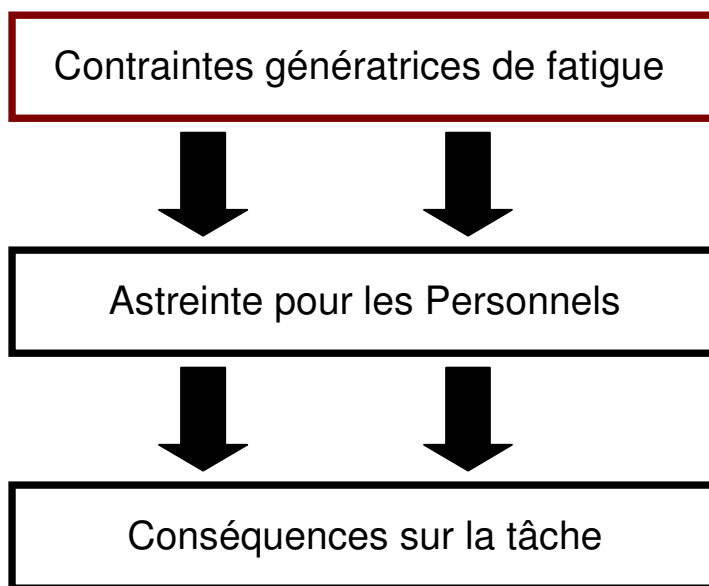
3.2 - Cadre général pour définir la méthode -

Pour appréhender la fatigue et son impact sur la sécurité pour la problématique des repos réduits, il est proposé de définir une méthode fondée sur une modélisation des éléments à recueillir.

Les éléments à recueillir peuvent être classés en 3 catégories :

- la première des catégories regroupe les facteurs qui peuvent potentiellement être à l'origine de la survenue d'un état de fatigue. Ces facteurs sont des contraintes qui s'appliquent aux personnels navigants,
- la deuxième catégorie regroupe les éléments qui traduisent l'astreinte qui en résulte, c'est-à-dire le "coût" pour les personnels navigants,

- enfin la troisième et dernière catégorie que l'on se propose d'évaluer concerne la manifestation du coût des contraintes qui s'appliquent aux personnels navigants, sur le résultat de la tâche et l'hygiène de vie des personnels.



Modélisation des éléments à recueillir

Pour chacune de ces catégories, il est possible de déterminer une liste d'éléments commune et/ou propre aux personnels navigants techniques et non techniques.

Les techniques pour recueillir ces éléments sont plus ou moins "lourdes" sur le plan de leur faisabilité (technique et/ou organisationnelle) et/ou des ressources humaines à mettre en œuvre. Il est ainsi possible de distinguer ce qui peut relever :

- du systématique,
- de l'observation "ciblée".

Cette présentation permet de dresser un catalogue des techniques utilisables en fonction des finalités recherchées et des ressources disponibles.

3.3 - Les contraintes génératrices de la fatigue -

Elles peuvent être décrites en 3 sous-catégories :

- celles qui ont trait à la privation de sommeil,
- celles qui relèvent des contraintes liées aux vols,
- celles qui relèvent du support logistique.

Contraintes génératrices de fatigue		
Privation de sommeil	Vols	Support logistique

Les 3 sous-catégories génératrices de fatigue.

3.3.1 - Contraintes de privation de sommeil -

Les contraintes de privation de sommeil résultent des rythmes de travail, de l'hygiène de vie des personnels et de leurs besoins de sommeil. Leur impact sur l'état de fatigue des personnels est la résultante de la dette de sommeil induite par les privations de sommeil préalable à la prise de service.

La connaissance de la dette de sommeil requiert de connaître :

- les rythmes naturels des cycles veille/sommeil des personnels,
- leur rythme de travail, c'est-à-dire leur planning. Le planning doit intégrer les heures de service et les heures de vol.

Dans le cadre des contraintes de privation de sommeil ayant une cause organisationnelle, les techniques pour recueillir ces éléments sont la connaissance des plannings de travail et l'évaluation de la fatigue est fournie par un modèle prédictif de type SAFE.

Ces données sont pertinentes à la fois pour les personnels navigants techniques et non techniques.

3.3.2 - Contraintes liées aux vols -

Les contraintes liées aux vols sont multiples. Elles sont indépendantes des personnels navigants et résultent de l'organisation du travail et des moyens mis à disposition par la compagnie.

On distingue 2 types de contraintes :

- les contraintes dues aux rotations,
- les contraintes opérationnelles.

3.3.2.1 - Contraintes dues aux rotations -

Les contraintes dues aux rotations sont génératrices d'une fatigue qui va s'accumuler au cours de la vacation. Elles correspondent au planning des vols de la rotation. Les éléments à prendre en compte sont :

- Horaires de la rotation (horaires de service – heures de vol),
- Nombre d'étapes,
- Horaires des étapes et donc aussi entre les étapes,
- Durée des étapes.

Ces éléments sont pertinents à la fois pour :

- les personnels navigants techniques et non techniques,
- les analyses systématiques et les observations ciblées.

Ces éléments sont à recueillir auprès des compagnies aériennes pour les analyses systématiques et auprès des personnels lors des observations systématiques.

3.3.2.2 - Contraintes opérationnelles -

Les contraintes opérationnelles regroupent les contraintes liées à l'aéronef et celles liées à l'environnement opérationnel.

Au regard de l'aéronef, il est important de connaître le type aéronef qui va déterminer un ensemble de conditions de travail, à savoir :

- bruits,
- vibrations,
- température / humidité,
- poste de travail (équipement galley et sièges pour les PNC ; cockpit et équipements pour les PNT).

Ces éléments sont pertinents à la fois pour :

- les personnels navigants techniques et non techniques,
- les analyses systématiques et les observations ciblées.

L'environnement opérationnel définit les conditions dans lesquelles les vols des rotations se sont déroulés. Elles ne sont pas fixes comme les contraintes liées à l'aéronef mais changent d'un vol à l'autre, d'une rotation à l'autre.

Les éléments à recueillir pour l'ensemble des personnels navigants sont :

- période de l'année,
- conditions météorologiques,
- événement imprévu survenu en vol (panne, déroutement, etc.) ou lors de l'escale (panne, ATC, services, passagers, etc.).

Plus spécifiquement, il est utile de recueillir pour les PNT:

- temps d'exercice dans la fonction et/ou sur le type d'avion,
- densité du trafic aérien,
- contraintes liés à l'ATC,
- limitations des équipements,
- alarmes,
- contraintes commerciales (retard pour correspondance, UM, etc.),
- passagers difficiles.

Pour les PNC, les éléments suivants ont un intérêt pour déterminer les contraintes vécues :

- nombre de passagers (ratio passagers/PNC),
- nature du service à bord,
- contraintes commerciales (retard pour correspondance, UM, etc.),
- passagers difficiles,
- limitations du fonctionnement des équipements (préalable au vol ou en cours de vol).

Certaines contraintes liées à l'environnement opérationnel comme les variations saisonnières, les conditions commerciales ou les événements survenus (par le biais des ASR par exemple) peuvent être recueillies de façon systématique;

Pour d'autres (limitations équipements, trafic aérien, etc.), elles ne peuvent être recueillies que lors d'observations in-situ.

3.3.3 - Support logistique -

Les contraintes inhérentes au support logistique concernent l'ensemble des personnels navigants. Les éléments qui les opérationnalisent sont :

- repas (type de repas),
- accueil et niveau de soutien des escales,
- conditions de repos (aéroport, hôtel pour services étendus),
- conditions de transfert entre aéroport et hôtel (délais),
- mise en place des personnels,
- conditions d'hébergement (bruit, repas, etc.).

Ces éléments sont pertinents à la fois pour :

- les personnels navigants techniques et non techniques,
- les analyses systématiques et les observations ciblées.

Eléments à recueillir	PNT	PNC	Systématique	Observation
<u>Privation de sommeil :</u>				
- Plannings de travail	X	X	X	
<u>Contraintes liées aux vols :</u>				
<i>Contraintes dues aux rotations</i>				
- Horaires de la rotation	X	X	X	
- Nombre d'étapes	X	X	X	
- Horaires des étapes et donc aussi entre les étapes	X	X	X	
- Durée des étapes	X	X	X	
<i>Contraintes opérationnelles</i>				
- Bruits	X	X	X	
- Vibrations	X	X	X	
- Température / humidité	X	X	X	
- Poste de travail	X	X	X	
- Période de l'année	X	X	X	
- Conditions météorologiques	X	X		X
- Evénement imprévu survenu en vol (panne, déroutement, etc.) ou lors de l'escale (panne, ATC, services, passagers, etc.)	X	X	X	X
- Densité du trafic aérien	X			X
- Contraintes liées à l'ATC	X			X
- Limitations des équipements	X	X		X
- Alarmes	X			X
- Nombre de passagers (ratio passagers/PNC)		X		X
- Nature du service à bord		X		X
- Contraintes commerciales (retard pour correspondance, UM, etc.)	X	X		X
- Passagers difficiles	X	X	X	X
<u>Support logistique :</u>				
- Repas compagnie (type de repas)	X	X	X	
- Accueil et niveau de soutien des escales	X	X	X	
- Conditions de repos (aéroport, hôtel pour services étendus)	X	X	X	
- Conditions de transfert entre aéroport et hôtel (délais)	X	X	X	
- Mise en place des personnels	X	X	X	
- Conditions d'hébergement (bruit, repas, etc.)	X	X	X	

3.4 - L'astreinte pour les personnels navigants -

Le coût du travail pour les personnels navigants se traduit par 2 notions : la fatigue et la charge de travail. Ces deux notions ne sont pas indépendantes dans la mesure où d'une part la charge de travail est génératrice de fatigue et d'autre part, la fatigue amoindrit les ressources de l'individu et donc augmente l'astreinte. La distinction entre ces 2 notions est toutefois importante dans le cadre méthodologique qui est proposé, car elles font référence à des causalités, des manifestations, et des conséquences qui peuvent être différentes. C'est ainsi une façon plus large d'aborder le spectre du ressenti des personnels navigants lorsque sont combinées des contraintes de planning, de rythme de travail et d'organisation du travail, avec des contraintes de tâche.

Fatigue et charge de travail présentent tous les deux l'avantage de décrire l'état interne d'un individu soumis à des contraintes, tant sur le plan physique que psychologique :

- la fatigue peut être définie comme l'état résultant d'un travail dépassant les limites physiologiques et/ou psychologiques de récupération,
- la charge de travail combine dimensions physique et psychologique et se définit comme la fraction de la capacité de travail investie par l'opérateur dans la réalisation de la tâche.

Astreinte pour les personnels	
Charge de travail	Fatigue

Astreintes pour les personnels

La fatigue et la charge de travail sont des notions multidimensionnelles qui nécessitent l'utilisation de différentes techniques. Ces techniques peuvent être classées en 4 familles :

- auto-évaluation ou mesures subjectives (les personnes donnent un avis sur ce qu'elles ressentent soit à travers des questions ou à l'aide d'échelle d'évaluation)
- mesures psychophysiologiques,
- données comportementales (elles consistent à recueillir via des systèmes d'enregistrements ou lors d'observation des indices du comportement des personnels navigants,
- entretiens avec les personnels (faits pendant ou après la réalisation de la tâche, ils permettent de mettre en relation les stratégies cognitives des personnels dans le cadre de la gestion des contraintes de la tâche ; ils permettent aussi de valider et enrichir les données recueillies à l'aide des techniques utilisées dans les 3 autres familles).

3.4.1 - Eléments d'appréciation de l'état de fatigue des personnels navigants -

La méthode s'appuie sur des techniques appartenant aux 4 familles citées ci-dessus.

3.4.1.1 - Techniques d'auto-évaluation de la fatigue -

Sous le terme fatigue, il est possible de rassembler différentes dimensions qui ont trait à la fatigue où aux manifestations qu'elle peut avoir. Il apparaît ainsi utile que l'on puisse apprécier outre la fatigue, l'humeur, la tension, le stress, l'ennui, la monotonie ou la lassitude.

Les techniques suivantes sont proposées :

- agendas de sommeil (sleep-log) : les personnels notent sur une période de 10 à 15 jours avant la vacation de travail et pendant la vacation leurs heures de coucher, d'endormissement, de réveil et de lever. Les résultats permettent de connaître les cycle veille/sommeil des personnels et grâce à des modèles de fatigue de quantifier les dettes potentielles de sommeil en fonction des rythmes de travail,
- questionnaire de fatigue : liste d'items qualifiant les différentes dimensions de la fatigue et pour lesquels les personnels donnent leur avis sur leur propre état. Ces questionnaires sont remplies en fin de vacation et/ou au cours de période déterminée au cours de la vacation (fin de vol – période de croisière du vol),
- échelle d'auto-évaluation. Reprenant les échelles de Likert, c'est-à-dire une échelle avec deux extrêmes sur laquelle le sujet doit positionner la perception qu'il a de son état, les échelles d'auto-évaluation permettent d'appréhender les différentes dimensions de la fatigue (physique, sensorielle, mentale, etc.) afin de les quantifier. Cette même approche est possible pour la somnolence avec des échelles analogiques (Visual Analog Scales) ou numériques (échelle KSS : Karolinska Sleepiness Scale).

Sur un plan pratique, ces techniques sont destinées à des observations "ciblées" car relativement lourdes et difficiles à piloter à distance. Toutefois, il est possible d'envisager pour les analyses systématiques, un questionnaire "simplifié" reprenant des échelles d'évaluation.

3.4.1.2 - Mesures psychophysiologiques -

Les mesures psychophysiologiques permettent de qualifier le stade de vigilance de l'individu. On distingue :

- électro-encéphalographie. C'est la technique la plus sensible pour déterminer le stade de vigilance (état d'éveil : passage à l'hypovigilance) des personnels. Elle est fondée sur l'enregistrement de l'activité électrique du cortex cérébral,
- clignements palpébraux et fermeture des paupières. Cette technique permet de déterminer un état de somnolence et la transition vers un stade de sommeil léger,
- actimétrie. Technique qui permet d'enregistrer, grâce à un bracelet porté au poignet l'activité motrice du membre supérieur. Cette technique, peu invasive au regard des 2 précédentes, permet de quantifier objectivement les périodes de sommeil tant en durée qu'en qualité. Facile à porter, l'actimétrie peut être utilisée sur de longues périodes et ainsi être confrontée aux données des agendas de sommeil.

Dans le cadre de l'étude et au regard des conditions d'exploitation des aéronefs lors des rotations "repos réduits", l'actimétrie est la technique la plus appropriée. Les autres techniques peuvent être utilisées mais cela nécessite des protocoles particuliers, et donc des ressources spécifiques.

3.4.1.3 - Données comportementales -

Toute étude relative aux repos réduits se faisant en conditions opérationnelles, il n'est pas possible d'équiper les appareils pour recueillir des données spécifiques à leurs activités. De ce fait, l'observation est la technique la plus appropriée.

L'observation ciblée "fatigue" consiste à recueillir auprès des personnels navigants, des manifestations comportementales de la fatigue :

- manifestations de la somnolence,
- baisse de l'attention,
- ralentissement de l'activité motrice,
- difficultés de mémorisation,
- compréhension et prise de décision,
- baisse de la coopération et évolution des communications,
- dégradation de l'humeur,
- prises alimentaire et de produits excitants,
- sieste,
- etc.

Les observations se feront selon une procédure "time-line" avec une grille d'observation où seront mentionnés les éléments caractérisant les comportements de fatigue et le contexte opérationnel (phase de vol - événement).

Pour les personnels navigants techniques, l'observation en cockpit est aisée (jump-seat), elle est beaucoup plus difficile pour les personnels navigants de cabine pour des raisons de sécurité, commerciale et de place dans la cabine.

3.4.1.4 - Entretiens -

Les entretiens seront individuels et se feront à la fin de la vacation ou à des étapes clés en cours de vacation (après vol, pendant la croisière, ou à l'hôtel).

Ces entretiens visent à valider et enrichir les données recueillies à l'aide des autres techniques. Elles permettent aussi de mettre à plat les stratégies des personnels et de mieux comprendre les mécanismes de régulation vis-à-vis de la fatigue.

Les entretiens doivent être courts (quelques minutes) et être structurés à partir des données d'observation.

Eléments à recueillir	PNT	PNC	Systématique	Observation
Fatigue :				
<i>Auto-évaluation</i>				
- Agendas de sommeil	X	X		X
- Questionnaire	X	X	X	X
- Echelle auto-évaluation	X	X	X	X
<i>Mesures psychophysiologiques :</i>				
- EEG				
- Clignements palpebraux				
- Actimétrie	X	X		X
<i>Données comportementales :</i>				
- Observations "en ligne"	X	X (?)		X
<i>Entretiens :</i>				
- entretien post-tâche	X	X		X

3.4.2 - Eléments d'appréciation de la charge de travail des personnels navigants -

Ils s'appuient aussi sur les mêmes 4 familles de technique.

3.4.2.1 - *Techniques d'auto-évaluation de la charge de travail* -

La littérature propose plusieurs techniques d'évaluation de la charge de travail. Il faut des techniques simples d'emploi, c'est-à-dire facile à mettre en œuvre dans l'environnement de l'exploitation et nécessitant un apprentissage à minima. Deux techniques apparaissent compatibles :

- Rating Scale Mental Effort (échelle unidimensionnelle de la charge de travail),
- NASA-TLX dans sa version simplifiée (échelle à 6 dimensions de la charge de travail).

Les passations de ces techniques peuvent se faire en fin de tâche (vol ou escale). Elles nécessitent la présence d'un observateur.

Les 2 techniques sont adaptées aux personnels navigants techniques et de cabine.

Une seule méthode est suffisante.

3.4.2.2 - *Mesures psychophysiologiques* -

Les mesures psychophysiologiques de la charge de travail sont nombreuses (EEG, ECG, électromyographie, réponse électrodermale, cortisol, etc.) mais délicates d'emploi en condition d'exploitation court-courrier. C'est pour cette raison qu'il n'est pas envisagé de "base" de les utiliser. Mais tout comme pour la fatigue, avec un protocole adapté et des ressources adéquates, il est possible de mener des investigations dans cette voie. Dans ce cas, l'ECG apparaît comme la technique la plus adaptée.

3.4.2.3 - *Données comportementales* -

Toute comme pour la fatigue et pour les mêmes raisons, l'observation est la technique la plus appropriée.

L'observation ciblée "charge de travail" consiste à recueillir auprès des personnels navigants, des manifestations comportementales de la charge de travail :

- pression temporelle,
- évolution des communications,
- modes opératoires,
- cross-check / redondances,
- usage des systèmes,
- partage des tâches et activité de soutien,
- accroissement de l'implicite,
- gestion des priorités,
- compte rendu des délégations,
- etc.

Les observations se feront selon une procédure "time-line" avec une grille d'observation où seront mentionnés les éléments caractérisant les comportements de charge de travail et le contexte opérationnel (phase de vol – événement).

Pour les personnels navigants techniques, l'observation en cockpit est aisée (jump-seat), elle est beaucoup plus difficile pour les personnels navigants de cabine pour des raisons de sécurité, commerciale et de place dans la cabine.

3.4.2.4 - Entretiens -

Les entretiens seront individuels et se feront à la fin de la vacation ou à des étapes clés en cours de vacation (après vol, pendant la croisière, ou à l'hôtel).

Ces entretiens visent à valider et enrichir les données recueillies à l'aide des autres techniques. Elles permettent aussi de mettre à plat les stratégies des personnels et de mieux comprendre les mécanismes de régulation vis-à-vis de la charge de travail.

Les entretiens doivent être courts (quelques minutes) et être structurés à partir des données d'observation.

Éléments à recueillir	PNT	PNC	Systematique	Observation
<u>Fatigue :</u>				
<i>Auto-évaluation</i>				
- NASA-TLX simplifié	X	X		X
<i>Mesures psychophysiologiques :</i>				
- ECG	X (?)	X (?)		X (?)
<i>Données comportementales :</i>				
- Observations "en ligne"	X	X(?)		X
<i>Entretiens :</i>				
- entretien post-tâche	X	X		X

3.5 - Conséquences sur le résultat de la tâche et l'hygiène de vie des personnels -

La problématique des repos réduits et des temps de service étendus est celle de la sécurité des vols. Pour cela, il est important que les conséquences de l'astreinte générée chez les personnels par les contraintes de travail puissent être évaluées. En effet, il n'existe pas de lien direct et proportionnel entre un niveau de fatigue et la sécurité. C'est pour cela que l'on se propose dans les conséquences de l'astreinte d'évaluer 3 catégories de conséquences :

- la performance opérationnelle des personnels navigants,
- la sécurité,
- les conséquences sur l'hygiène de vie et la santé des personnels.

Conséquences sur la tâche		
Performance opérationnelle	Sécurité	Hygiène de vie Santé

Conséquences sur la tâche

Les 3 catégories de conséquences seront évaluées à partir d'un certain nombre de techniques que l'on peut regrouper en 4 familles :

- auto-évaluation ou mesures subjectives (les personnes donnent un avis sur la façon dont elles ont perçu leur performance ou le niveau de sécurité pendant la réalisation de la tâche soit à travers des questions et/ou soit à l'aide d'échelle d'évaluation),
- recueil de données objectives des conséquences sur la tâche,
- données comportementales (elles consistent à recueillir via l'observation des indices des conséquences de la fatigue et/ou de la charge de travail sur le résultat de la tâche),
- entretiens avec les personnels (faits pendant ou après la réalisation de la tâche, ils permettent de mettre en relation les stratégies cognitives des personnels dans le cadre de la gestion des contraintes de la tâche ; ils permettent aussi de valider et d'enrichir les données recueillies à l'aide des techniques utilisées dans les 3 autres familles).

3.5.1 - Les conséquences sur la performance opérationnelle -

3.5.1.1 - Techniques d'auto-évaluation de la charge de travail -

Il est proposé d'utiliser des questionnaires d'évaluation de la performance et/ou des échelles d'évaluation.

La performance sera évaluée par les personnels en rapport avec leurs standards de performance.

Ces techniques sont à la fois adaptées aux personnels navigants techniques et de cabine.

Les passations de ces techniques peuvent se faire en fin de tâche (vol ou escale). Elles nécessitent la présence d'un observateur.

Une seule méthode est suffisante.

Il peut être intéressant d'utiliser des évaluations croisées au sein de l'équipage (personnels techniques ou personnels de cabine) pour évaluer la performance de l'autre.

3.5.1.2 - Données objectives -

Ces données sont recueillies à partir des paramètres FDM enregistrés lors des vols.

Dans le cadre de l'évaluation de la performance, l'objectif est de recueillir des indices sur l'utilisation des systèmes et le positionnement de l'équipage dans les fourchettes acceptables de performance pour certaines phases de vol.

Pour pouvoir détecter l'effet de la fatigue sur la performance du pilote il est proposé de suivre l'apparition et l'évolution d'un ensemble d'événements potentiellement à risque qui pourront avoir comme facteur contributif la fatigue du pilote.

Conformément à la classification internationale des événements, après une revue critique par des experts PNT, on peut suggérer de retenir :

RISK LEVEL	EVENT DESCRIPTION
1	Rotation speed Low
1	Rotation speed High
1	Exceedence of Flaps/Slats limit speed after Take Off
1	Exceedence of Flaps/Slats limit speed in Approach
1	High pitch rate at take off
1	Low pitch rate at take off
1	Pitch Cycling During Fin app
1	Excessive bank angle in final approach (h<100 ft)
1	Excessive bank angle in final approach (between 100 and 400ft)
1	Roll Cycling In Final Approach
1	Roll cycling at take off
1	TCAS RA Warning
1	GPWS warning (below 500 feet)
2	Continuously Low during final
2	Continuously Slow during final
2	Continuously High during final
2	Continuously Fast during final
2	Continuously Steep during final
2	Longitudinally Misaligned during final
2	Over Rotation at Take Off
2	Under Rotation at Take Off
2	Low Energy Situation in Approach
2	High Energy Situation in Approach
2	Pitch Coupling after Take Off

Le choix de ces événements a porté sur :

- des événements ayant des niveaux de sévérité sur la sécurité des vols (1 = faible et 2 = moyen),
- des événements dans les phases le plus critiques des vols : la phase de décollage (incluant les 3 premières minutes après le décollage) et dans la phase d'approche (c'est-à-dire les 8 dernières minutes avant l'atterrissage),
- à cette première liste pourront être rajoutés des paramètres mesurant :
 - o les erreurs de trajectoires (en complément des autres paramètres déjà cités),
 - o les erreurs d'approche (peu crédibles en automatique),
 - o l'entrée tardive des volets (opération toujours manuelle),
 - o les erreurs de calage altimétrique (opération toujours manuelle),
 - o les informations transpondeur (a priori non significatif),
 - o le plan de descente (en complément des autres paramètres déjà cités),
 - o la communication radio (peu significative).

De façon générale, les modes manuels sont observables sur tous les vols, ne serait-ce que pendant les phases de décollage et d’atterrissage.

Les modes automatiques présentent un intérêt sur deux points : lorsqu’il y a erreur dans la logique d’affichage des fonctions, (observable à partir du FDR) et lorsqu’ils sont débrayés à la suite d’une incompréhension homme - machine.

Une fois apparu et détecté, chaque événement demande une correction de la part du pilote. Par exemple, l’événement “ Continuously High during final” lié à la trajectoire haute demande la correction de celle-ci par le Pitch (le manche et on peut suivre comme indicateur l’intervalle de temps entre la détection de l’événement et l’action du pilote sur le manche. Dans ce cas le temps de réaction du pilote peut être plus ou moins long et il peut être en corrélation avec sa fatigue.

Dans le tableau suivant, sont présentés les paramètres qui, a priori, peuvent être mesurés directement à travers le FDM – la disponibilité de ces paramètres devra être validée.

N°	Event Group	FDM parameter
1	Flight Operations	Rotation Speed
2	Take-off Pitch	Pitch rate high on take-off
3	Pitch	Pitch attitude high during take-off
4	Bank Angles	Excessive bank below 100 ft AGL
5	Bank Angles	Excessive bank 100 ft AGL to 500 ft AAL
6	Mid-air collision	TCAS warning
7	Ground Proximity Warning	GPWS warning
8	Approach Power	Low power on approach
9	Approach Power	High power on approach
10	High Approach Speeds	Approach speed high within 90 sec of touchdown
11	High Approach Speeds	Approach speed high below 500 ft AAL
12	High Approach Speeds	Approach speed high below 50 ft AGL
13	Low Approach Speed	Approach speed low within 2 minutes of touchdown
14	Glideslope	Deviation under glideslope
15	Glideslope	Deviation above glideslope (below 600 ft AGL)
16	Flight Manual Speed Limits	Flap placard speed exceedence

Chaque compagnie aérienne concernée par cette méthodologie de mesure fournira les valeurs nominales propres pour ces paramètres.

Pour éviter toute contestation sur le choix définitif des paramètres, il est fortement recommandé la création d’un groupe consultatif composé de pilotes cadres ou instructeurs PNT et de représentants syndicaux afin de valider la liste de paramètres.

3.5.1.3 - Données comportementales -

L'observation de la performance est la technique la plus appropriée.

L'observation ciblée "performance" consiste à recueillir auprès des personnels navigants, les comportements relatifs à la performance de l'équipage :

- emploi des procédures,
- relation et usage des automatismes,
- conscience de la situation,
- processus décisionnel,
- fonctionnement équipage, communications,
- relations extérieures à l'avion,
- etc.

Les observations se feront selon une procédure "time-line" avec une grille d'observation où seront mentionnés les éléments caractérisant les comportements liés à la performance et le contexte opérationnel (phase de vol – événement).

Pour les personnels navigants techniques, l'observation en cockpit est aisée (jump-seat), elle est beaucoup plus difficile pour les personnels navigants de cabine pour des raisons de sécurité, commerciale et de place dans la cabine.

3.5.1.4 - Entretiens -

Les entretiens seront individuels et se feront à la fin de vacation ou à des étapes clés en cours de vacation (après vol, pendant la croisière, ou à l'hôtel).

Ces entretiens visent à valider et enrichir les données recueillies à l'aide des autres techniques. Elles permettent aussi de mettre à plat les stratégies des personnels et de mieux comprendre les mécanismes de régulation vis-à-vis de la performance.

Les entretiens doivent être courts (quelques minutes) et être structurés à partir des données d'observation.

Eléments à recueillir	PNT	PNC	Systématique	Observation
<u>Performance :</u>				
<i>Auto-évaluation</i>				
- Questionnaire	X	X	X	X
- Echelles	X	X	X	X
<i>Données objectives :</i>				
- FDM	X		X	X
<i>Données comportementales :</i>				
- Observations "en ligne"	X	X(?)		X
<i>Entretiens :</i>				
- entretien post-tâche	X	X		X

3.5.2 - Les conséquences sur la sécurité -

3.5.2.1 - Techniques d'auto-évaluation de la sécurité -

Il est proposé d'utiliser des questionnaires d'évaluation de la sécurité perçue et/ou des échelles d'évaluation.

Ces techniques seront construites en y incluant les thèmes suivants :

- niveau de sécurité,
- production d'erreurs,
- détection et récupération des erreurs,
- état indésirable.

Ces techniques sont à la fois adaptées aux personnels navigants techniques et de cabine.

Les passations de ces techniques peuvent se faire en fin de tâche (vol ou escale). Elles nécessitent la présence d'un observateur.

Une seule méthode est suffisante.

3.5.2.2 - Données objectives -

Pour identifier les événements précurseurs - et qui seraient liés à la fatigue - d'une situation potentiellement à risque, il est proposé de mener une analyse comparative de fréquence de ces événements précurseurs au sein de deux ensembles avec ou sans repos réduits et/ou services étendus.

Les événements précurseurs pouvant être liés à la fatigue seront à valider par le groupe professionnel consultatif (cf § 3.5.1.2).

Il est proposé alors de demander l'accès aux compagnies concernées par l'étude - avec rédaction préalable d'un protocole d'utilisation et de confidentialité - à deux familles de données :

- les paramètres FDM enregistrés lors des vols. Dans le cadre de l'évaluation de la sécurité, l'objectif est de recueillir des indices sur la production d'erreurs, la récupération des erreurs et la survenue d'états indésirables, (cf § 3.5.1.2),
- les données issues du traitement des ASRs (Air Safety Reports).

L'ASR étant le formulaire manuscrit utilisé par l'équipage dès l'instant où il a vécu un événement qui a un rapport avec la sécurité des vols, il représente la toute première famille d'événements qu'il conviendra d'observer.

A partir de la liste des événements dont la déclaration est obligatoire est établie (par exemple : les écarts d'altitude supérieurs à 300ft, les RA TCAS, les incursions ou les confusions de pistes,...), il devra être proposé un choix limité aux seuls ASRs utilisables et pouvant avoir un lien avec la fatigue équipage.

Ces ASRs sont à la fois factuels et comprennent parfois des éléments d'appréciation qui pourront conforter une analyse.

Tout comme pour l'utilisation des données FDM, l'approche proposée devra être validée par les compagnies et le groupe professionnel consultatif.

De même il sera utile de s'intéresser aux CRI (Comptes Rendus Incidents) et de certains RDV (Rapports De Vols équipage PNC) dès lors où un aspect sécurité pourrait être identifié.

3.5.2.3 - *Données comportementales* -

L'observation ciblée "sécurité" consiste à recueillir auprès des personnels navigants, les comportements relatifs aux erreurs et à la sécurité :

- erreurs / impact sur la sécurité,
- détection et récupération des erreurs.

Les observations se feront selon une procédure "time-line" avec une grille d'observation où seront mentionnés les éléments caractérisant les comportements liées à la sécurité et le contexte opérationnel (phase de vol – événement).

Pour les personnels navigants techniques, l'observation en cockpit est aisée (jump-seat), elle est beaucoup plus difficile pour les personnels navigants de cabine pour des raisons de sécurité, commerciale et de place dans la cabine.

3.5.2.4 - Entretiens -

Les entretiens seront individuels et se feront à la fin de vacation ou à des étapes clés en cours de vacation (après vol, pendant la croisière, ou à l'hôtel). Ces entretiens visent à valider et enrichir les données recueillies à l'aide des autres techniques. Elles permettent aussi de mettre à plat les stratégies des personnels et de mieux comprendre les mécanismes de régulation vis-à-vis de la gestion des erreurs et de la sécurité.

Les entretiens doivent être courts (quelques minutes) et être structurés à partir des données d'observation.

Eléments à recueillir	PNT	PNC	Systématique	Observation
Sécurité :				
<i>Auto-évaluation</i>				
- Questionnaire	X	X	X	X
- Echelles	X	X	X	X
<i>Données objectives :</i>				
- FDM	X			X
- ASR	X	X	X	
<i>Données comportementales :</i>			X	
- Observations "en ligne"	X	X(?)		X
<i>Entretiens :</i>				
- entretien post-tâche	X	X		X

3.5.3 - Les conséquences sur l'hygiène de vie et la santé des personnels -

3.5.3.1 - Techniques d'auto-évaluation -

Il est proposé d'utiliser des questionnaires permettant aux personnels de rapporter leurs habitudes de vie, et en particulier celles qui leur permettent de s'adapter aux rythmes de travail :

- repas (horaires et compositions),
- prise de boissons,
- sieste,
- activités physiques,
- usage de stimulants,
- etc.

Cette technique est à la fois adaptée aux personnels navigants techniques et de cabine. Ce questionnaire ne serait rempli qu'une fois par les personnels.

3.5.3.2 - Données objectives -

Les données objectives relèvent de la médecine du travail et de la gestion des personnels :

- arrêts de maladie,
- accidents de trajet,
- etc.

Aucune des données recueillies ne doit être couverte par le secret médical ou le secret professionnel.

3.5.3.3 - Données comportementales -

Lors des observations "en-ligne", il sera noté les "récupérations", prises d'excitants et tout comportement jugé comme un marqueur spécifique d'une adaptation de l'hygiène de vie aux caractéristiques du travail

3.5.3.4 - Entretiens -

Les entretiens seront individuels et se feront à la fin de la vacation ou à des étapes clés en cours de vacation (après vol, pendant la croisière, ou à l'hôtel).

Ces entretiens visent à valider et enrichir les données recueillies à l'aide des autres techniques. Elles permettent aussi de mettre à plat les stratégies des personnels et de mieux comprendre les mécanismes de régulation vis-à-vis de l'hygiène de vie.

Les entretiens doivent être courts (quelques minutes) et être structurés à partir des données d'observation.

Éléments à recueillir	PNT	PNC	Systématique	Observation
<u>Hygiène de vie :</u>				
<i>Auto-évaluation</i>				
- Questionnaire	X	X	X	X
<i>Données objectives :</i>				
- Arrêts maladie	X	X	X	
- Accidents du travail	X	X	X	
<i>Données comportementales :</i>				
- Observations "en ligne"	X	X		X
<i>Entretiens :</i>				
- entretien post-tâche	X	X		X

4 - SYNTHÈSE DE LA DÉMARCHE PROPOSÉE -

Il convient de rappeler que la méthode n'est pas destinée à proposer des principes d'organisation des services des PN. Elle a pour but de permettre une évaluation la plus complète possible des modalités de survenue de la fatigue, en reliant celle-ci avec la planification et le déroulement des vols, par une analyse de paramètres recueillis en continu et de manière systématique sur tous les vols des rotations étudiées.

Les différents points qui viennent d'être présentés peuvent se résumer de la manière suivante :

- Pour chaque principe d'organisation des services des PN retenu pour l'évaluation, application de la démarche ci-après :
 1. Identification dans des plannings existants des séquences de rotations/vols critiques sur le plan de la fatigue en utilisant un modèle prédictif de la fatigue (analyse rétrospective sur 12 mois),
 2. Suivi systématique d'indicateurs sur tous les vols concernés (période d'observation de 12 mois) pour les plannings/rotations évalués comme critiques par l'analyse rétrospective :
 - . paramètres FDM,
 - . analyses ASRs,
 - . indicateurs santé (absentéisme, accidents trajets, ...),
 - . complété par une enquête par questionnaire auprès des PN concernés.
 3. Observations et recueil de données en vol (30 PN sur une période de 10 jours) pour les séquences de rotations critiques :
 - . recueil paramètres FDM,
 - . agendas et actimétrie de sommeil,
 - . évaluations subjectives de la somnolence, de la fatigue et de la charge de travail par les PN,
 - . observation des marqueurs comportementaux de la fatigue et de la charge de travail,
 - . observations chronométrées du déroulement des vols, des activités et des communications,
 - . auto-évaluation et observation des erreurs, récupérations d'erreurs,
 - . caractérisation des vols (type avion, aéroports,...),
 - . entretien post-vol (10 à 15 minutes au maximum).
- Analyse comparative des indicateurs retenus pour les séquences de rotations retenues : avec ou sans repos réduits et/ou temps de service étendus.

5 - CONCLUSION -

La démarche proposée à la suite de la revue de littérature et des différents échanges avec les représentants des compagnies aériennes et des syndicats de PN se veut une approche multicritère dans laquelle sont pris en compte :

- les éléments des plannings susceptibles de contribuer à l'apparition et à l'accumulation de fatigue chez les PN,
- les manifestations de la fatigue chez les PN concernés en relation avec des indicateurs se rapportant à l'exécution des tâches, à la sécurité des vols et à la santé des personnels.

Le lien entre fatigue et sécurité étant délicat à établir, il est préconisé, à l'instar des FRMS, de s'appuyer sur un suivi à caractère systématique des indicateurs retenus sur une période minimale de 12 mois, l'ensemble des données collectées constituant la base d'un Observatoire « Fatigue – Sécurité » appliqué aux vols court-courriers.

Concernant le dimensionnement des travaux à mettre en œuvre pour aboutir à cet Observatoire, il demeure difficile à établir de manière précise.

Une configuration minimale peut consister à suivre 3 types de séquences de rotations critiques comparées à une séquence évaluée non critique suite à l'analyse rétrospective de plannings réalisés avec un modèle prédictif de la fatigue.

Cela conduirait à une durée d'étude de l'ordre de 18 à 24 mois avec les étapes suivantes :

- organisation de l'étude avec la participation de 3 à 4 compagnies aériennes et mise en place d'un comité de pilotage,
- identification des 4 types de plannings (3 avec séquences critiques et 1 sans) à analyser en fonction de plusieurs critères (temps de service mensuel entre 80 et 100% du maximum légal, présence ou non de séries de repos réduits coucher tard-lever tôt (5/3, 3/3, 4/4), présence ou non de temps de service étendus, séquence de plus de 5 rotations consécutives sans périodes de repos, ...),
- mise en œuvre des modalités de recueil et validation de la liste des paramètres FDM, validation des questionnaires à utiliser,
- analyse rétrospective sur 12 mois de 160 plannings réalisés (10 commandants de bord + 10 Copilotes + 10 chefs de cabine +10 PNC pour chacun des 4 plannings types) avec un modèle de prédiction de la fatigue,

- mise en place du suivi sur 12 mois des paramètres FDM, ASR et indicateurs de santé, pour tous les vols et PN concernés par les plannings types,
- enquête par questionnaire sur la fatigue perçue par les PN concernés par les plannings types (600 à 800 questionnaires),
- observations ciblées de 4 x 30 PN sur des durées de 10 jours, à répartir sur 2 périodes sur l'année,
- exploitation des données de suivi et des observations ciblées,
- analyses comparatives des résultats selon les plannings types,
- élaboration d'un tableau de bord pour organiser un suivi systématique de type FRMS, intégrable aux Safety Management Systems des compagnies.

* * *



direction générale
de l'Aviation civile

direction des affaires
stratégiques et techniques

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

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

50, rue Henry Farman
75720 Paris cedex 15

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

