

Sécurité du Transport Aérien et gestion du Risque fatiguE

LAA



Ce travail a été en collaboration avec les 3 compagnies régionales françaises :



BRITAIR

1 – INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Ce document résume la méthodologie et les résultats obtenus au cours du projet Sécurité et Transport Aérien – Risque fatiguE (STARE). Le projet a été mené à la demande de la DGAC dans le contexte de l'instruction relative aux exigences en matière de repos des équipages du 2 Mai 2007 (Journal Officiel). Cette instruction prévoit que les compagnies souhaitant bénéficier de dispositions spécifiques en matière de repos des équipages doivent mettre en place un Système de Gestion de la Sécurité du Risque Fatigue (SGS-RF). Ce SGS-RF, qui constitue un élément du Système de Gestion de la Sécurité (SGS) de l'exploitant tel que défini par l'OACI, est destiné à s'assurer que ces dispositions spécifiques permettent de conserver un niveau de sécurité équivalent au regard du risque fatigue par rapport aux exigences de la réglementation Européenne (EU-OPS).

Bien que la fatigue constitue un « danger » pour la sécurité au sens de l'arrêté du 22 décembre 2008 sur les Systèmes de Gestion de la Sécurité, elle ne peut pas totalement être assimilée à d'autres facteurs de risque. Pour résumer, cinq propriétés particulières sont à considérer pour en assurer une maîtrise au sens du SGS-RF :

- Les sources de fatigue sont à la fois professionnelles et extra-professionnelles. En particulier, l'impact des temps de trajet domicile-base a été analysé.
- Les sources professionnelles de la fatigue sont multidimensionnelles et concernent aussi bien les horaires de travail que la nature et le contexte de l'activité.
- Il existe de fortes différences individuelles dans la susceptibilité à la fatigue et dans les capacités à gérer sa fatigue.
- Le lien entre fatigue et niveau de sécurité n'est pas linéaire : les stratégies de gestion de la fatigue évoluent en fonction du niveau de fatigue.
- Compte tenu des interactions au sein d'un équipage de conduite, une analyse du risque fatigue au niveau de l'équipage apparaît également pertinente.

2 – CADRE REGLEMENTAIRE ET METHODOLOGIQUE

La mise en œuvre d'un SGS-RF par un exploitant est requise dès lors qu'il recourt à des services fractionnés ou à des repos réduits. Les caractéristiques principales de ces opérations sont les suivantes¹ :

- le service fractionné prévoit que pour un service de vol interrompu par un temps de pause compris entre 3h-9.59h, le temps de service de vol peut être majoré de la moitié du temps de la pause minoré de 15 minutes ;
- le repos réduit permet la réduction du repos jusqu'à un minimum de 7h30 (si celui-ci est pris dans un hôtel situé à moins d'un quart d'heure de l'aéroport). Le temps de service de vol précédent le repos réduit ne doit pas comporter plus de 5 étapes. Le temps de service de vol suivant est limité à 3 étapes maximum, et son amplitude est réduite de l'insuffisance de repos (différence entre le repos nominal prévu par l'EU OPS et la durée du repos réduit). Le repos suivant est majoré de cette même insuffisance et doit comporter une nuit locale. Au maximum, deux repos réduits peuvent être programmés entre deux repos périodiques réglementaires.

Cette étude a été menée à partir de données réelles fournies, mesurées ou recueillies, sur la base du volontariat, au sein de trois compagnies aériennes françaises régionales. La pertinence de l'étude, qui vise à développer des fondements scientifiques d'un SGS-RF, doit donc s'apprécier au regard du type d'opérations qu'elles réalisent. Ainsi, l'évaluation du risque fatigue a porté sur des opérations court-courrier dans le contexte français du service fractionné et du repos réduit.

Ce projet a été mené en collaboration étroite avec Airlinair, Britair et Regional qui ont apporté leur contribution en termes de fourniture de données et de possibilités d'observations en vol. Afin de respecter la confidentialité des données, les compagnies ne sont pas désignées nommément dans la suite du rapport.

¹ Cf. arrêté du 25 mars 2008 modifié pour le détail des exigences réglementaires

3 - LES SYSTEMES DE GESTION DU RISQUE FATIGUE

La prévention de la fatigue dans les compagnies aériennes passe par une approche prescriptive encadrant les limitations des temps de service et de calcul de temps de repos minimum. Cette démarche trouve ses origines au début du 20^{ème} siècle et était adaptée à la fatigue physique qui tend à s'installer et à augmenter de manière linéaire. Elle semble l'être beaucoup moins pour des activités à dominantes « cognitives ». En effet, l'installation et la récupération de la fatigue mentale présentent une dynamique non linéaire (Dawson et McCullough, 2004²). Les variations liées à nos rythmes biologiques font qu'une durée équivalente de repos n'a pas le même potentiel de récupération selon l'heure de la journée. On constate que ces réglementations fixent des critères de haut niveau où ces variations ne sont que très rarement prises en compte (Cabon et coll., 2002³). L'EU-OPS, qui constitue le socle réglementaire de cette étude, incorpore partiellement les critères chronobiologiques. On considère cependant que la prise en compte simultanée de tous les critères scientifiques rendrait les réglementations très complexes, voire inapplicables.

Les approches prescriptives trouvent également leurs limites par le fait qu'elles sont généralement peu adaptées à la prise en compte de la forte diversité des situations rencontrées dans les compagnies aériennes et à la flexibilité nécessaire à la conception des rotations dans un secteur très concurrentiel. Par ailleurs, les temps de travail sont un des enjeux majeurs des relations sociales au sein d'une entreprise de transport aérien. Pour faire face à ces pressions, le système peut avoir recours à des dérogations conduisant à des réductions des temps de repos ou à des extensions des temps de service qui, accompagnées de mesures compensatoires, devraient faire l'objet de mesure d'impact sur la sécurité.

A partir de ces constats, a émergé l'idée des SGS-RF qui ont vocation à compléter, voire remplacer partiellement ou en totalité, les limitations prescriptives des temps de service et aux exigences de repos. En d'autres termes, les limites sont fixées non plus à partir de critères réglementaires universels mais en fonction d'un risque fatigue évalué au

² Dawson, D. & McCullough, K. (2005). Managing fatigue: It's about sleep. *Sleep Medicine Reviews*, 9, 365-380.

³ Cabon, P., Bourgeois-Bougrine, S., Mollard, R., Coblenz, A., & Speyer, J.J. (2002). Flight and Duty Time Limitations in Civil Aviation and Their Impact on Crew Fatigue: A comparative Analysis of 26 National Regulations. *Human Factors and Aerospace Safety: An International Journal*, 2(4), 379-393.

cas par cas. On trouvera un historique et une revue de ces SGS-RF dans Gander et coll.⁴ (sous presse).

Dans le transport aérien, les autorités de l'Aviation Civile de Nouvelle-Zélande ont été pionnières dans ce domaine.

A ce jour, le principe du SGS-RF a également été récemment appliqué par deux compagnies aériennes : d'abord par Singapore Airlines, pour l'introduction des vols Ultra Long Courriers de plus de 16h de vol et/ou 18h de Temps de Service de Vol (Spencer et Robertson, 2007⁵) puis par EasyJet pour la mise en place de nouvelles rotations court-courrier (Steward, 2006⁶). Ces systèmes ont pour point commun d'utiliser des modèles prédictifs de la fatigue pour évaluer a priori le risque de fatigue associé aux horaires de service et un suivi continu ou périodique d'indicateurs de sécurité et d'évaluations de fatigue (questionnaires, observations,...).

Sur un plan international, l'OACI a créé en 2009 une « Fatigue Risk Management System Task Force » regroupant des opérateurs, des autorités et des experts pour encadrer le développement futur de ces SGS-RF.

L'objectif précis du projet STARE est d'étudier les conditions de la mise en place d'un observatoire de la sécurité du transport aérien régional intra-européen français vis-à-vis du risque fatigue ainsi que le développement des bases scientifiques d'un futur SGS-RF s'appliquant dans le cas des repos réduits et des services fractionnés, le tout dans le contexte réglementaire de l'EU-OPS. Les conséquences de ce type d'opérations sur le niveau de fatigue des équipages ont notamment été analysées.

⁴ Gander, P., Hartley, L., Powell, D., Cabon, P., Hitchcock, E., Mills, A., Popkin, S. Fatigue Risk Management I: Organizational Factors. Accident analysis and Prevention.

⁵ Spencer, M.B., & Robertson, K.A. (2007). The application of an alertness model to ultra-long-range civil air operations. *Somnologie*, 11, 159-166.

⁶ Stewart, S. (2007). An integrated system for managing fatigue risk within a low cost carrier. In Proceedings of the International Aviation Safety Seminar, Flight Safety Foundation, October 23-26, Paris, France.

4 - DEMARCHE ADOPTEE

Le principe général de la démarche du projet STARE est d'utiliser d'abord des indicateurs d'ores et déjà disponibles au sein des compagnies aériennes mais dont le traitement n'est pas orienté vers le suivi du risque fatigue. D'autres indicateurs ont par ailleurs été retenus, issus des pratiques d'autres entités à l'étranger ou d'autres secteurs d'activité.

Cette démarche générale a consisté à analyser les données recueillies selon deux méthodes :

- Un observatoire systématique : il couvre des données recueillies systématiquement par les compagnies et sur l'ensemble des vols ou des personnels navigants de la compagnie. La particularité de ces données est qu'elles ne visent pas initialement à suivre un niveau de risque fatigue mais constituent des indicateurs de la sécurité ou de la santé du personnel. L'objectif est ici d'évaluer la sensibilité de ces indicateurs au niveau de risque spécifique de fatigue. Les deux indicateurs étudiés sont les ASR⁷ et les événements ASV⁸. Le niveau de risque spécifique de fatigue résulte de l'analyse des plannings fondée sur un modèle prédictif de fatigue
- Un observatoire ciblé : les données sont issues d'un questionnaire web et de recueils d'informations et d'observations en vol qui, compte tenu de leur nature, ne concernent qu'un échantillon de vols et d'équipages et une période limitée.

Ce résumé reprend les principaux résultats susceptibles d'être utilisables dans le cadre de la mise en place d'un SGS-RF qu'ils soient issus d'une prise en compte des bonnes pratiques ou qu'ils relèvent davantage d'un travail de recherche

⁷ Air Safety Report

⁸ Analyse Systématique des vols

5 – PRINCIPAUX RESULTATS

5.1. Observatoire systématique

L'objectif de cet observatoire, mis en place dans le cadre du projet STARE, est de déterminer les indicateurs potentiellement utilisables pour identifier et évaluer le niveau de risque de fatigue sur la base des données recueillies systématiquement par les compagnies aériennes.

Afin de disposer d'un étalonnage du niveau de risque fatigue des équipages, une analyse chronobiologique des plannings a été réalisée en utilisant un modèle prédictif de fatigue, le Fatigue Risk Index. Ce modèle permet, à partir des caractéristiques des horaires de service de prédire un niveau de risque de fatigue.

5.1.1. Analyse chronobiologique des plannings équipages

Les plannings de tous les équipages ont été analysés au regard de deux catégories de variables explicatives : la première relative à l'horloge biologique et au rythme veille sommeil⁹, la seconde relative à des critères sociaux¹⁰.

Sur cette base, ces variables ont permis de sélectionner les plannings réputés les plus critiques de 16 personnels navigants de cabine (PNC) et entre 16 et 17 personnels navigants techniques (PNT) au sein de chaque exploitant ayant participé à l'étude, sur une durée d'un an. L'analyse du risque fatigue a été réalisée sur les services du matin suivant un repos réduit pour les plannings ainsi sélectionnés.

Le périmètre d'analyse ainsi déterminé, l'indice de fatigue (FRI) a donc été étudié. L'indice FRI est égal à la probabilité d'obtenir un score supérieur ou égal à 7 à l'échelle de somnolence KSS (Karolinska Sleepiness Scale). Cette échelle se compose de 9 niveaux, entre « extrêmement éveillé », correspondant à un score de 1, et « extrêmement somnolent » correspondant à un score de 9. L'échelle KSS considère qu'à partir d'un score de 7, un individu est somnolent sans qu'il ait de difficulté à rester éveillé.

⁹ Ces critères quantifient la proportion de nuits d'une durée inférieure à 8h45, de nuits d'une durée inférieure à 11h00, de services fractionnés, de services débutant plus tôt que le service précédent, de services débutant avant 6h00 du matin, de périodes de plus de 5 jours de travail consécutifs, et le nombre moyen de secteurs par service.

¹⁰ Ces critères comprennent le proportion de soirées libres, de samedis libres, de dimanches et jours fériés libres, de week-ends libres et de découchers

Ainsi, la figure n°1 présente la distribution des indices de risque de fatigue FRI obtenus pour tous les services matinaux après un repos réduit pour l'ensemble des plannings critiques. Sur cet échantillon, l'indice de risque de fatigue FRI varie de 4,05% à 42,76%, soit 4,05% à 42,76% de probabilité d'obtenir un score KSS supérieur ou égal à 7. Ce score a été retenu comme niveau de fatigue « critique » sur le plan des performances dans le cadre de cette étude. Ce seuil est également utilisé dans d'autres domaines d'activité.

On constate que 6% des services du matin suivant un repos réduit pour le sous-échantillon des plannings critiques présentent une probabilité supérieure à 30% de générer un niveau de fatigue dit « critique ». Moins de 1% de ces services présentent une probabilité supérieure à 35% de générer un niveau de fatigue dit « critique ». Ces proportions sont inférieures si l'on considère la totalité des repos réduits. Une étude qualitative permettant de caractériser ces services engendrant potentiellement un niveau de fatigue dit « critique » n'a pas été menée dans le cadre du projet STARE.

L'amplitude importante entre les scores FRI faibles et élevés traduit la grande diversité de configurations en termes de planning notamment concernant :

- l'heure de prise de service fluctuante entre 03h00 et 07h59,
- l'heure de fin du service d'après-midi précédant le repos réduit,
- l'amplitude du service du matin après le repos réduit,
- la position du service dans l'enchaînement depuis le dernier repos.

Cette grande variabilité résulte de plusieurs facteurs. Parmi ceux-là, l'enchaînement aléatoire des services dans les plannings individuels qui découle de la planification globale des rotations, y compris des rotations comprenant des repos réduits. Ce résultat souligne, dans la perspective des SGS-RF s'appliquant pour les repos réduits, qu'il est pertinent de gérer le risque fatigue à l'échelle des plannings et pas seulement à l'échelle de la rotation. Au sein de la compagnie le modèle pourrait par exemple être utilisé pour évaluer des séquences « types » de plannings et identifier les types d'enchaînement défavorables et favorables afin d'aider les agents à gérer au mieux l'élaboration des plannings des personnels navigants.

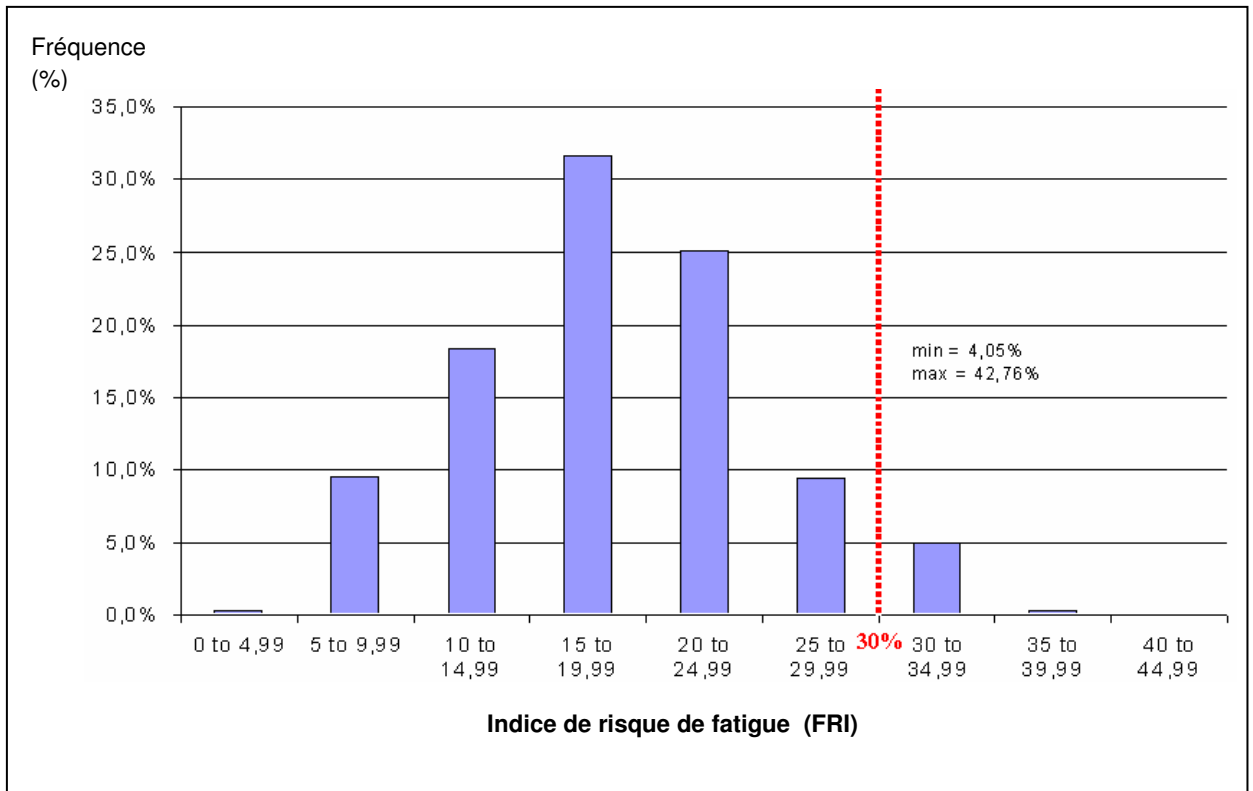


Figure n°1. Distribution des scores FRI pour les services du matin suivant un repos réduit – Ensemble des plannings critiques

Les figures n°2 et 3 présentent deux exemples de plannings de deux commandants de bord d’une même compagnie présentant des services avec repos réduit associé à un indice de risque de fatigue FRI inférieur à 30 et supérieur à 30. Ces deux exemples soulignent que le risque fatigue associé au repos réduit est étroitement lié aux services précédant ce repos réduit. Ceci confirme qu’il est plus pertinent de procéder à une planification intégrant l’historique du planning de l’équipage pour réduire au maximum le risque fatigue.

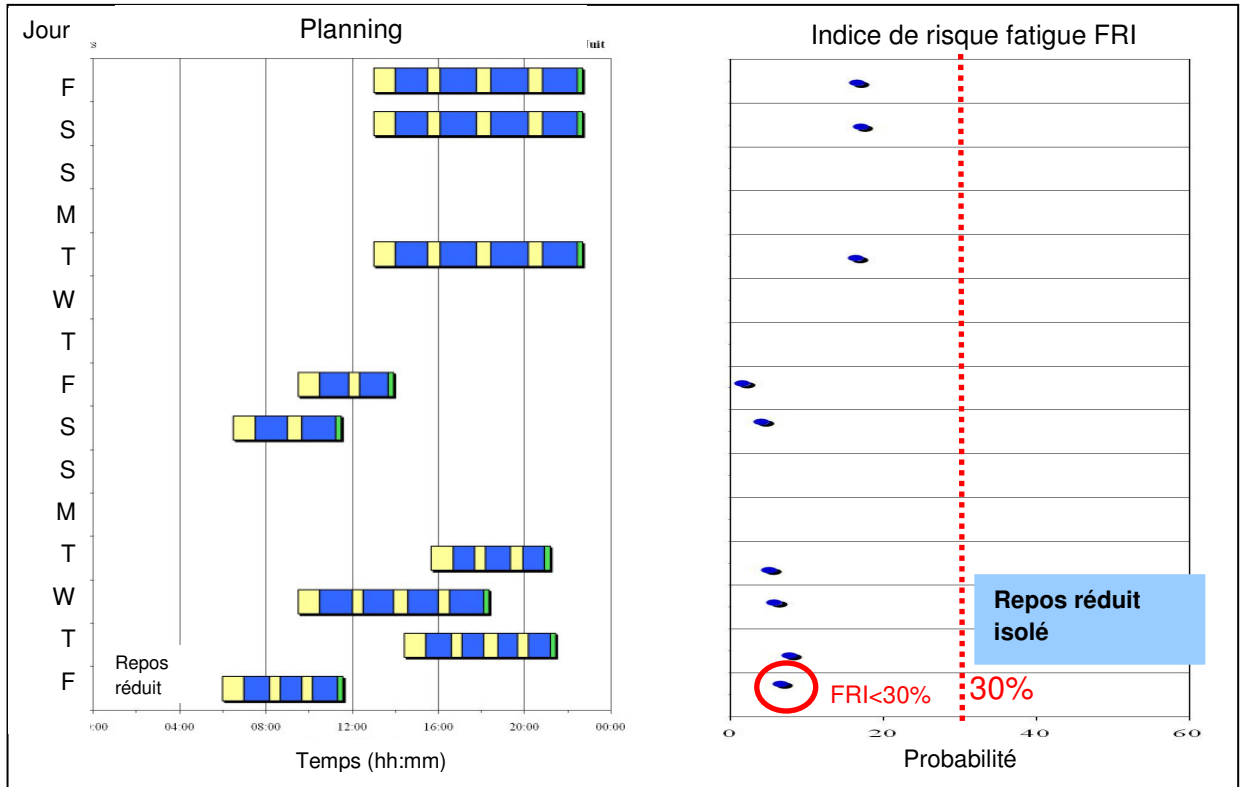


Figure n° 2. Enchaînement de services avec repos réduit associé et score FRI < 30

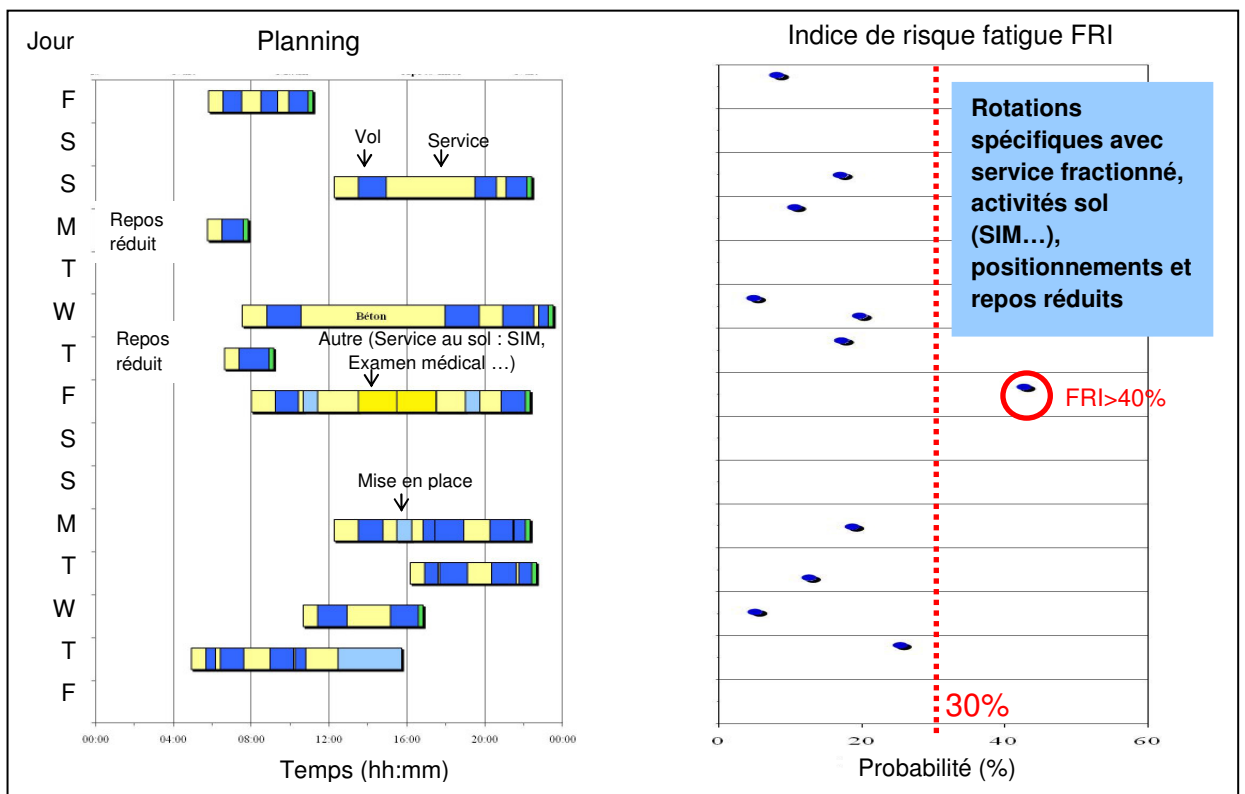


Figure n° 3. Enchaînement de services avec repos réduit et score FRI > 30

5.1.2 Observatoire systématique et suivi des indicateurs

Cet observatoire, comme exposé en §4 et §5.1, couvre deux types d'indicateurs :

- Les remontées des Air Safety Reports (ASR)
- Les remontées des Analyses Systématiques de Vol (ASV)

5.1.2.1. Les ASR

Les ASR constituent l'un des indicateurs essentiels de la sécurité suivis par les compagnies aériennes. Ces ASR sont des rapports obligatoires qui sont remplis par les équipages à la suite de certains événements tels que par exemple le demi-tour en vol, l'incapacité d'un membre d'équipage, l'incursion ou la confusion de piste, le passage involontaire en dessous de l'altitude de sécurité, les défauts de communications. Certains exploitants suivent tout particulièrement leurs ASR dans leurs analyses sur la fatigue, par exemple EasyJet (Steward, 2007) ou Air New Zealand (Fallow, 2008). Leur objectif est d'identifier dans les ASR les événements où l'équipage a déclaré que la fatigue a contribué à la dégradation de la performance ou la sécurité du vol. Pour ce qui concerne les compagnies françaises au moment et dans le périmètre du projet STARE, les facteurs fatigue n'étaient pas directement pris en compte dans les ASR, ni au niveau des formulaires que remplissent les équipages, ni ensuite dans les analyses effectuées par la compagnie.

Les analyses qualitatives et quantitatives réalisées dans le cadre du projet STARE ont consisté à déterminer si les variations d'occurrences des remontées des ASR pouvaient être expliquées par la fatigue des équipages. La totalité des événements rapportés a été étudiée indépendamment de leur lien potentiel avec un niveau de fatigue présumé ou déclaré par l'équipage.

La figure n° 4 montre la comparaison de la fréquence des ASR (corrigée du volume d'activité) survenant après des repos réduits et après des repos standards. Les résultats sont présentés en fonction de la durée de service précédant la survenue de l'événement ayant conduit à la rédaction de l'ASR.

Les résultats indiquent :

- Pour deux des trois opérateurs (exploitants X et Y), il n'existe pas de différence significative entre taux d'ASR après repos réduit et après repos normal pour les événements survenus dans les trois premières heures de service de vol ;
- Pour les trois opérateurs, un taux significativement plus important d'ASR après repos réduit que celui constaté après repos normal pour des événements survenus entre 3h et 5h de service de vol ;
- Pour un des trois opérateurs (exploitant Z), un taux significativement plus faible d'ASR après repos réduit que celui constaté après repos normal pour les événements survenus après la cinquième heure de service de vol ; pour un deuxième opérateur (exploitant Y) il n'existe pas de différence significative entre taux d'ASR après repos réduit et après repos normal.

En outre, dans le cas des repos réduits, on note pour les trois opérateurs une diminution du taux d'ASR pour les événements survenus après la cinquième heure de service de vol par rapport à celui constaté entre la troisième et la cinquième heure.

Les autres résultats ne sont pas statistiquement significatifs, compte tenu de la taille insuffisante de l'échantillon.

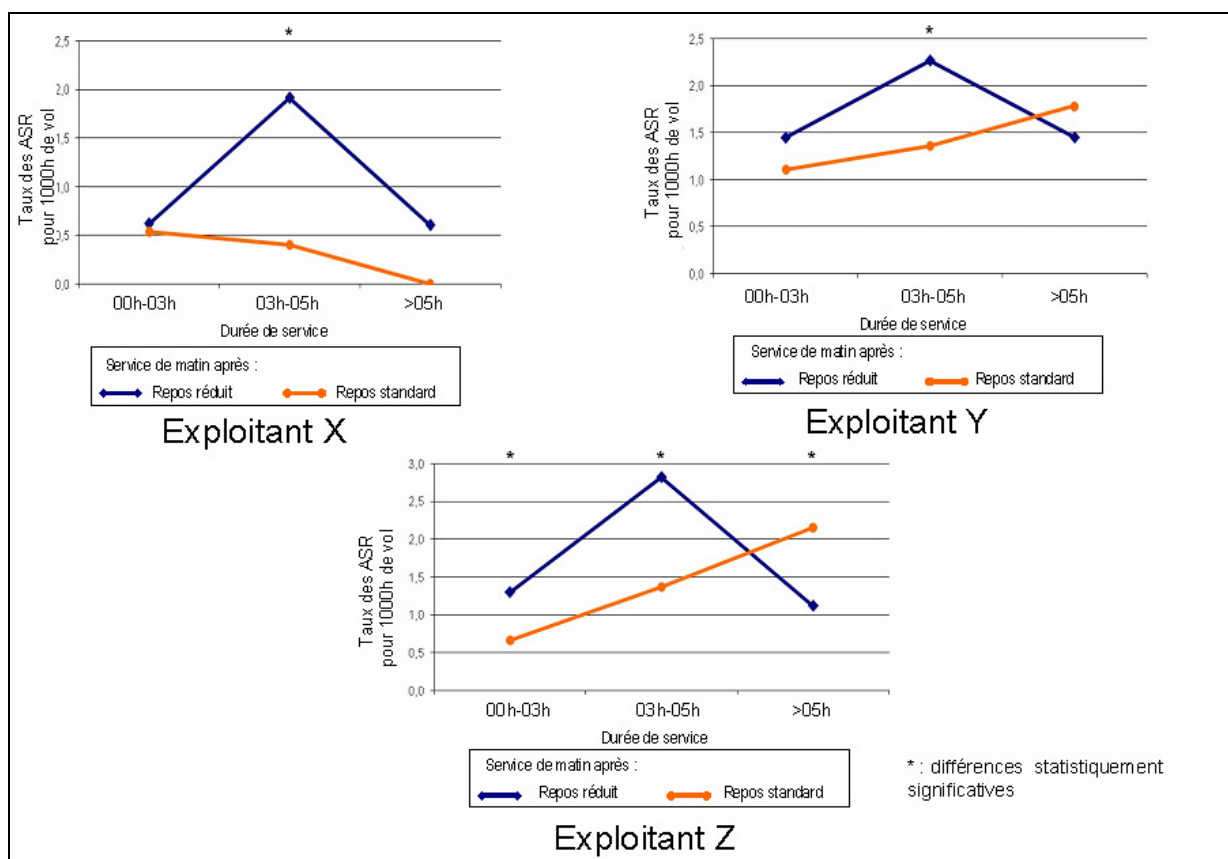


Figure n°4. Comparaison de la fréquence des ASR après repos réduits et standards

Ces résultats suggèrent que la fréquence des ASR est sensible aux caractéristiques des services même s'il n'existe pas une relation linéaire avec la durée du service.

La réduction des ASR pour les durées de service élevées peut s'expliquer par des stratégies visant à se « protéger » des effets de la fatigue (utilisation plus importante des automatismes, application plus stricte des procédures, augmentation des cross checks,...) conduisant à une réduction des événements. Ce point est corroboré par des entretiens et des observations menées en compagnie.

Dans l'état actuel des données relatives aux ASR, il est difficile d'aller plus loin dans l'interprétation des données mais ces résultats suggèrent que cet indicateur est potentiellement pertinent dans le cadre d'un SGS-RF. Il nécessite néanmoins d'une part des méthodes d'analyse statistiques appropriées et d'autre part, dans le futur, un enrichissement du recueil des ASR par des informations plus qualitatives.

Des recommandations spécifiques ont été proposées d'une part sur des modalités permettant de prendre en compte systématiquement la fatigue à l'occasion d'un ASR et d'autre part sur l'analyse statistique des données.

5.1.2.2. Analyses Systématiques de Vols (ASV)

L'Analyse Systématique des paramètres de Vol (ASV) est utilisée dans les compagnies aériennes pour suivre de manière systématique et statistique des indicateurs relatifs à la sécurité de vols. Ces indicateurs, appelés événements, correspondent schématiquement à des dépassements de seuils pour des points clés du vol. Il leur est généralement associé 3 niveaux de sévérité quantifiant l'importance du dépassement, le niveau 3 étant le plus sévère. La définition de ces événements est dépendante tant du type d'appareil que de la compagnie aérienne. Cette analyse systématique des ASV a été acceptée par les représentants du personnel navigant d'une seule des trois compagnies.

Il est à noter que ces événements n'ont pas été conçus pour l'appréhension de la fatigue. Ils reposent sur une approche normative en termes de performances de pilotage ou de non respect de procédures et détectent des écarts. Le but de cette partie de l'étude est de définir, sur la base de résultats scientifiques, comment les outils actuels d'ASV disponibles dans les compagnies aériennes pourraient contribuer au SGS-RF. Plusieurs études ont déjà été réalisées sur ce domaine. Dans l'étude de Mello (2008)¹¹ on cherche les liens entre l'occurrence des déviations les plus sévères et la période du vol dans la journée. Rosekind (2008) s'intéresse à l'influence d'éléments de la rotation (type de service, journée dans la rotation, segment dans la journée) sur la fréquence d'occurrence des événements de sévérité 2 ou 3. Une caractérisation de la fatigue par une combinaison de 11 paramètres tirés des plannings des équipages est aussi utilisée dans cette étude, mais aucun impact significatif sur l'occurrence des événements de sévérité 2 et 3 n'a pu être démontré. Les travaux d'EasyJet (Steward et coll., 2003¹²) ont étudié notamment l'impact de deux types d'enchaînement de rotations, 6/3 (6 services de matins consécutifs, suivis de trois jours de repos, puis 6 services d'après-midi suivis de 3 jours de repos) comparées à 5/2/5/4 (5 services de matins consécutifs, suivis de deux jours de repos, puis 5 services d'après-midi suivis de 4 jours de repos) sur la fréquence d'occurrence des événements de leur système d'ASV. Leurs résultats montrent une réduction significative du nombre d'évènements de sévérité 3 avec le type de rotation 5/2/5/4, initialement construite pour minimiser la fatigue des équipages.

¹¹ M.T. Mello & al Relationship between Brazilian airline pilot errors and time of day. Brazilian Journal of Medical and Biological Research - 41(12), 2008.

¹² Stewart, S., Abboud, R. Flight crew scheduling, Performance and Fatigue in a UK Airline, Phase 2. Conference proceedings of Fatigue Management in Transportation Operations. 2005. Seattle, USA.

L'approche retenue dans le projet STARE a consisté à rechercher des corrélations entre un risque fatigue associé aux plannings des équipages et l'occurrence des événements caractérisés par 3 niveaux de sévérité (du moins sévère, 1, au plus sévère, 3). La figure 5 résume la méthodologie développée dans ce projet. Le point central est l'utilisation combinée d'évaluation d'un risque fatigue lié aux plannings des personnels navigants avec les données ASV. L'évaluation du niveau de risque de fatigue est ici effectuée à partir de l'application de critères fatigue dans les plannings individuels des pilotes, commandants de bord (CDB) et officiers pilotes de ligne (OPL). Chaque vol est ensuite caractérisé par le niveau de risque de fatigue de l'équipage constitué, c'est-à-dire la combinaison du niveau de risque de fatigue pour le CDB et l'OPL. Au total, 5 classes de niveau de risque fatigue de l'équipage ont pu être déterminées en fonction de ces combinaisons. La dernière étape consiste à comptabiliser le nombre d'événements ASV pour chacune de ces classes de niveau de risque fatigue. Cette analyse couvre un total de 46974 vols et 69.635 événements, répartis en 19 types (« speed exc MMO », « speed exc. VMO », « speed exc. VFE » etc), classés en 3 niveaux de sévérité:

- Sévérité 1 : 66 451
- Sévérité 2 : 2 846
- Sévérité 3 : 338

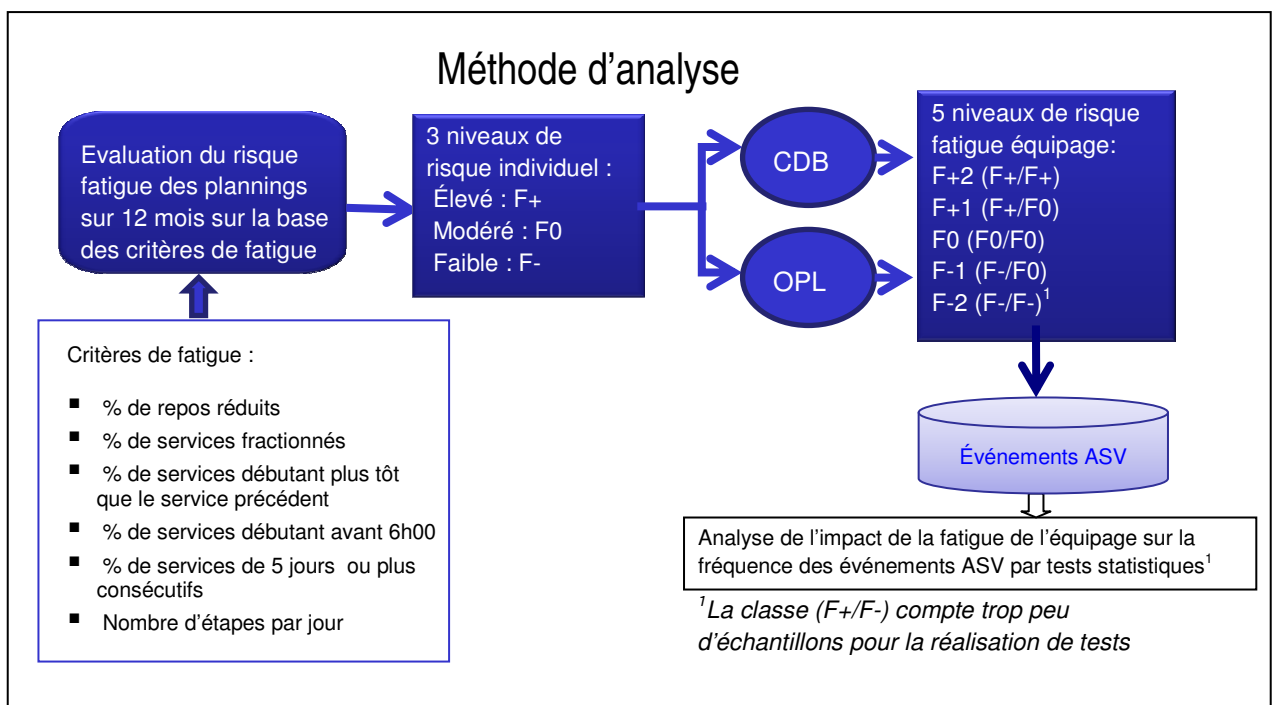


Figure n° 5. Principe de la méthode d'analyse de l'impact du niveau de risque de fatigue sur les événements identifiés à l'ASV.

La figure n° 6 montre la distribution des événements, toutes sévérités confondues, en fonction des 5 classes de niveau de risque de fatigue de l'équipage constitué.

On constate les variations des événements ASV suivantes :

- toutes sévérités confondues, plus l'équipage constitué est caractérisé par un niveau de fatigue faible, plus l'occurrence d'événements est élevée (figure n°6) ;
- pour les événements de sévérité 1, de façon identique, plus le niveau de risque de fatigue de l'équipage constitué est faible, plus il y a d'occurrences de ces événements ;
- pour les événements de sévérité 2, dans une moindre mesure (les remontées de l'ASV de sévérité 2 étant associées à une seule catégorie d'événements) la même tendance est observée ;
- pour les événements de sévérité 3, plus le niveau de risque de fatigue de l'équipage constitué est faible, moins il y a d'occurrence de ces événements (figure n°7).

La réduction du nombre d'événements toutes sévérités confondues lorsque le risque fatigue de l'équipage augmente, ci-dessus mentionnée, est liée à une réduction des événements de sévérité 1 et 2 qui représentent la plus forte proportion de la totalité des événements.

Les résultats de l'analyse des occurrences d'événements ASV, réalisée au sein d'une compagnie, pour un type d'aéronef et sur une durée d'un an, montrent que la fatigue des équipages a un effet sur les événements opérationnels tels qu'ils sont mesurés par la compagnie. Il faut cependant noter que cet effet n'est pas perceptible sur tous les types d'événements ASV.

Aussi, les variations du nombre d'événements ASV, considérés indistinctement, ne peuvent-elles constituer un indicateur du risque de fatigue de l'équipage. En revanche, certains de ces événements ASV sont sensibles à ce risque ; il est donc nécessaire de les identifier si leur utilisation est envisagée dans le cadre d'un SGS-RF.

Les indicateurs ainsi établis devront prendre en compte le niveau de sévérité des événements, l'étude montrant que pour la plupart des événements sensibles au niveau de fatigue de l'équipage, un niveau de fatigue élevé est caractérisé par moins d'événements de sévérité faible et plus d'événements de sévérité élevée.

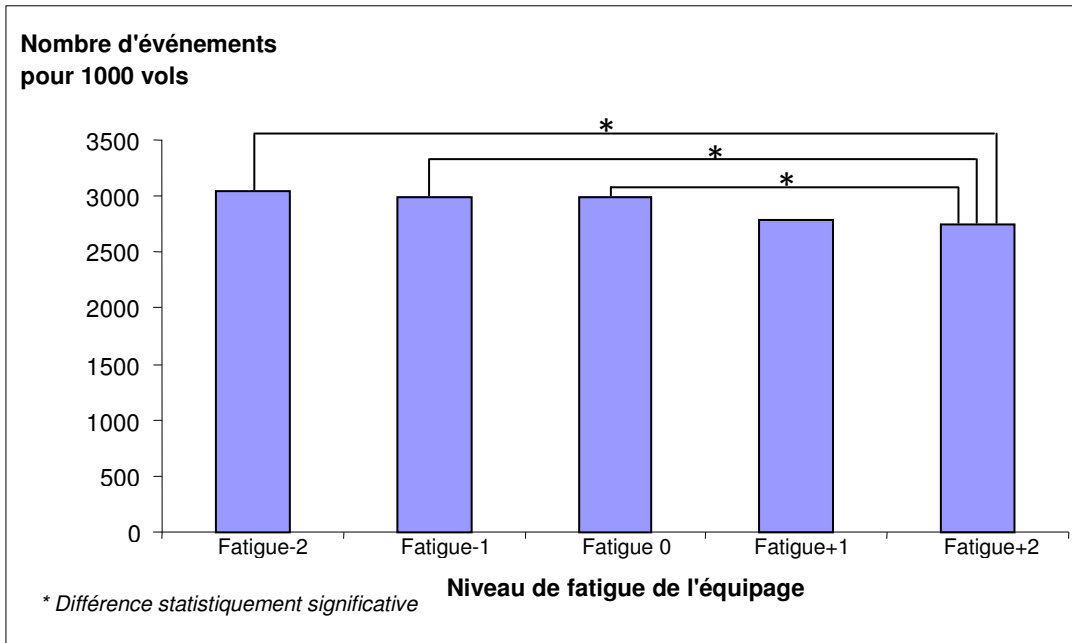


Figure n° 6. Impact du risque fatigue de l'équipage constitué sur le nombre d'événements de vols, tous niveaux de sécurité confondus

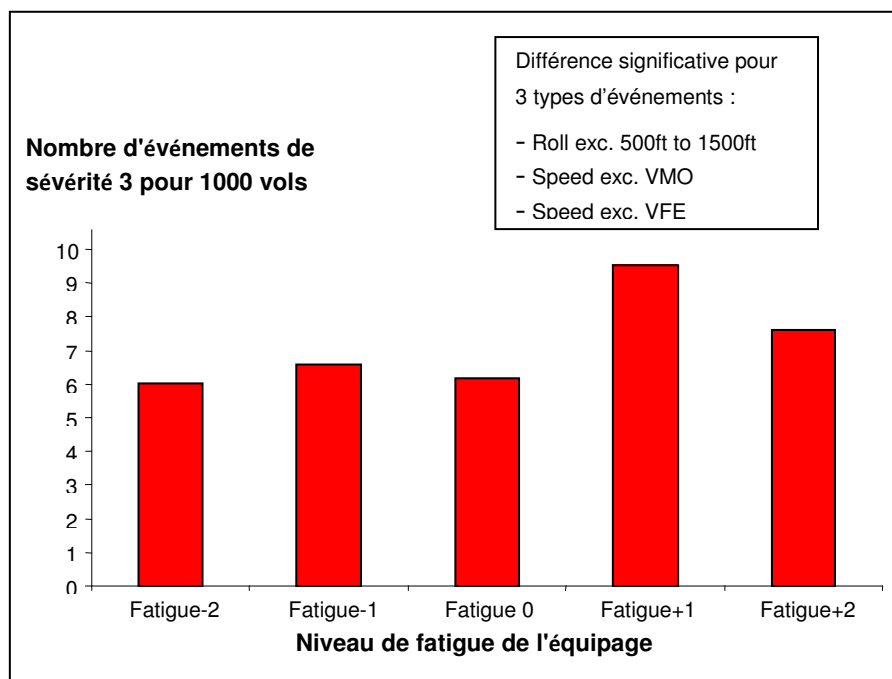


Figure n° 7. Impact du niveau de risque de fatigue de l'équipage constitué sur le nombre d'événements de vols de niveau de sévérité 3.

5.1.3. Analyse de l'absentéisme

Dans le monde du travail, l'absentéisme est un indice des conséquences du travail sur la santé des personnels. Un état de fatigue aiguë ou chronique, physique ou mentale peut être source d'absentéisme ou favoriser la survenue d'une pathologie, elle-même responsable d'un absentéisme.

L'analyse de l'absentéisme réalisée à partir des données RH des compagnies étudiées, portant sur 1300 arrêts sur une période d'un an, montre qu'on ne peut tirer de conclusion de l'impact de la fatigue liée aux plannings de travail sur l'absentéisme.

Sur un plan pratique, pour la mise en place d'un observatoire du risque fatigue au sein d'une compagnie aérienne, l'analyse de l'absentéisme de façon systématique sur la base des données dont on dispose aujourd'hui n'est pas suffisamment valide et fiable pour formuler une recommandation.

5.2 Observatoire ciblé

L'observatoire ciblé englobe un ensemble de moyens mis en œuvre pour évaluer directement la fatigue ressentie par les équipages ou jugées par des observateurs sur des échantillons limités d'équipages et de rotations. Ces indicateurs couvrent des techniques classiquement mises en œuvre :

- une enquête sur site web ;
- des observations et un recueil de données en vol.

5.2.1 Enquête sur d'un site web

L'objectif de cette enquête est de pouvoir disposer de données sur le vécu des rotations par les équipages et plus généralement de leurs conditions de travail. Cette méthodologie est classiquement utilisée dans les SGS-RF car elle permet d'accéder rapidement, sur des populations importantes de personnels navigants, à des informations sur des facteurs pouvant interférer plus ou moins directement avec le niveau de fatigue des équipages.

Les grandes rubriques abordées dans le questionnaire développé dans le cadre du projet STARE concernent :

- La fatigue perçue par les personnels navigants en lien avec :
 - les horaires de travail,
 - les habitudes de sommeil,
 - les conditions de travail

- la vie sociale et familiale
- Les manifestations et les conséquences ressenties comme liées à la fatigue
- Les stratégies adoptées pour lutter contre la fatigue.

Afin d'accéder plus facilement au personnel navigant (PN), il a été choisi de diffuser ce questionnaire à partir d'un site web dédié et protégé par un mot de passe. Au total, 468 PN ont répondu à ce questionnaire (tableau n°1). La population totale de PN en poste dans les 3 compagnies s'élevant à 2046 au moment de l'enquête, le pourcentage de retours est donc de 23,7%.

Fonctions	Nombres de questionnaires remplis (%)
CDB	163 (34,8)
OPL	119 (25,4)
PNC	186 (39,7)
Total	468 (100%)

Tableau n°1. Répartition des effectifs de questionnaires remplis par fonction.

Les principaux résultats issus de cette enquête sont les suivants :

- 44,3 % de PN habitent loin de leur base, 85% d'entre eux indiquent qu'ils ont un logement d'appoint.
- Une perception très ambivalente des horaires de travail qui représente l'un des principaux avantages du travail mais aussi le premier inconvénient.
- Les services vécus comme les plus fatigants d'après les PN sont les successions de réveils matinaux sur 4-5 jours. Viennent ensuite les rotations comportant un service multi-étapes après repos réduit. Les PN déclarent ressentir un besoin de récupération associé de respectivement 3 et 2 jours. Il faut noter que, plus généralement, tout service, quel que soit le niveau de fatigue induit, est ressenti comme nécessitant au moins un jour complet de récupération.
- Une durée du sommeil perçue comme plus dégradée au cours des repos réduits que des services du matin. Cette perception est significativement plus élevée pour les PNC que pour les PNT.

- Les perturbations liées à l'environnement extérieur, les aléas techniques et les changements d'avions sont perçus comme les situations de travail générant le plus de fatigue, devant le facteur « planning ».
- Les cadences, les plannings et les ambiances physiques sont considérés comme les conditions de travail générant le plus de fatigue.
- Les cadences et les plannings, auxquels s'ajoutent la qualité des repas pour les PNC, sont perçus comme étant les éléments des conditions de travail qui se sont le plus dégradés dans les dernières années.
- Les signes de fatigue les plus perceptibles « pour eux-mêmes » sont les manifestations physiques (dos, tête, yeux,...) pour les PNT et les PNC et l'envie irrésistible de dormir pour les PNC. La perte d'intérêt et de motivation, la perte de disponibilité sont les premiers signes de fatigue détectés chez les co-équipiers
- La sieste et la gestion du sommeil sont les stratégies les plus utilisées pour prévenir la fatigue, loin devant la prise de caféine.
- Anticiper et s'appuyer sur le co-équipier constituent les stratégies liées à l'activité professionnelles les plus citées pour gérer la fatigue.
- Les erreurs de manipulation et la perte de l'anticipation sont perçues par les PNT comme étant les manifestations de la fatigue liées à la performance les plus fréquentes. Pour les PNC, les difficultés à se concentrer, effectuer son travail de manière mécanique et les oublis constituent les impacts de la fatigue sur les performances les plus perçus. La perte de l'anticipation et ne plus être capable de gérer l'imprévu sont considérés comme les facteurs de risque les plus élevés respectivement pour les PNT et les PNC.
- Les troubles de l'humeur, le mal de dos (PNT) et aux jambes (PNC) sont les signes psychologiques et physiques de fatigue les plus perçus.
- D'une manière générale les PN se déclarent assez conscients de leur fatigue et de ses conséquences. Ils sont très demandeurs d'informations sur les mécanismes de la fatigue et des moyens de la prévenir dans le cadre de l'activité professionnelle.

5.2.2 Observations et recueil de données en vol.

La deuxième partie de l'observatoire ciblé concerne les observations et le recueil de données en vol. Cette partie regroupe des outils essentiels dans la perspective d'un SGS-RF car ils permettent d'appréhender de manière précise l'impact des horaires de service sur le sommeil, la fatigue et le comportement des équipages.

Ce recueil de données comporte deux phases essentielles :

1. le suivi du sommeil et de la fatigue à l'aide d'un actomètre et d'un agenda de sommeil pendant une période de 12 jours qui encadre l'observation en vol. Le principe de l'actométrie est de mesurer la quantité de mouvements à l'aide d'un accéléromètre placé dans un petit boîtier porté au poignet non dominant. Cet appareil permet donc d'enregistrer les épisodes d'activité (caractérisés par de nombreux mouvements) et de repos (peu de mouvements) afin d'évaluer la durée et la qualité du sommeil à partir de l'activité motrice. Cette détection est réalisée par un logiciel comportant un algorithme validé sur le plan de la détection du sommeil.

Ce suivi permet d'évaluer les conséquences des rotations sur le sommeil et d'interpréter les observations faites lors des journées d'observation en vol.

2. Le recueil de données au cours des rotations :
 - a. Par les équipages qui ont renseigné des échelles standardisées relatives à l'évaluation de leur fatigue et de ses manifestations . Ces évaluations ont été réalisées au cours de rotations dont la plupart comportait un repos réduit ou un service fractionné.
 - b. Par des observateurs extérieurs chargés de remplir des grilles d'analyse depuis l'arrivée à l'avion jusqu'à la fin de service. Les faits remarquables ont ensuite été catégorisés et mis en correspondance avec les données de fatigue afin d'en déterminer l'impact sur l'activité.

Au total, 126 PN (75 PNT et 51 PNC) ont participé à ce recueil de données. Un total de 49 rotations ont fait l'objet d'un suivi de la fatigue et d'une évaluation du sommeil dans les jours précédant et suivant la rotation. Le type de rotation concerné est présenté dans le tableau n°2.

Type de rotation	Nombre
2 vols en fractionné	1
Service avec 4 vols et grande amplitude	2
Service avec 4 vols	1
Rotation 1/3	1
Rotation 3 fractionné / 1	5
Rotation 3/1	4
Rotation 3/3	19
Rotation 5/3	14
Rotation 5/1	1
Service réduit à 1 vol (problèmes techniques)	1
Total	49

Tableau n°2. Effectifs de rotations ayant fait l'objet d'une évaluation de la fatigue.

5.2.2.1 Suivi du sommeil et de la fatigue

Concernant la phase de suivi du sommeil, l'étude STARE a confirmé un fait sociétal, non spécifique au domaine aérien : l'existence permanente d'une dette de sommeil, de l'ordre de 10% pour les personnels étudiés, en dehors de toute période de travail. Les valeurs des dettes de sommeil présentées par la suite (figures 8 et 9) doivent être considérées relativement à cette caractéristique.

La figure n° 8 présente les résultats de l'évaluation de la durée du sommeil en fonction du type de rotations, comparés pour les PNT et les PNC.

Les résultats sont présentés en pourcentage du besoin de sommeil déclaré par les PN. Concernant l'effet du type de rotation, on observe une durée du sommeil significativement plus faible pour les repos réduits comparés aux autres types de repos. La privation du sommeil atteint respectivement 45,9 et 38,8 % du sommeil habituel des PNT et des PNC. La différence entre les résultats des PNT et des PNC est statistiquement significative.

La figure n° 9 présente le même type de résultats, comparés pour les PN « faux basés » et ceux vivant proche de leur base. Contrairement à ce que l'on pouvait attendre, il n'existe aucune différence significative entre ces deux populations. Le facteur « faux basé » ne présente donc pas un impact significatif sur la durée du sommeil : les PN « faux basés » compensent l'éloignement de leur domicile par des stratégies, consistant par exemple à arriver la veille sur le lieu de leur base (logement de type « pied à terre » ou hébergement chez des amis ou collègues).

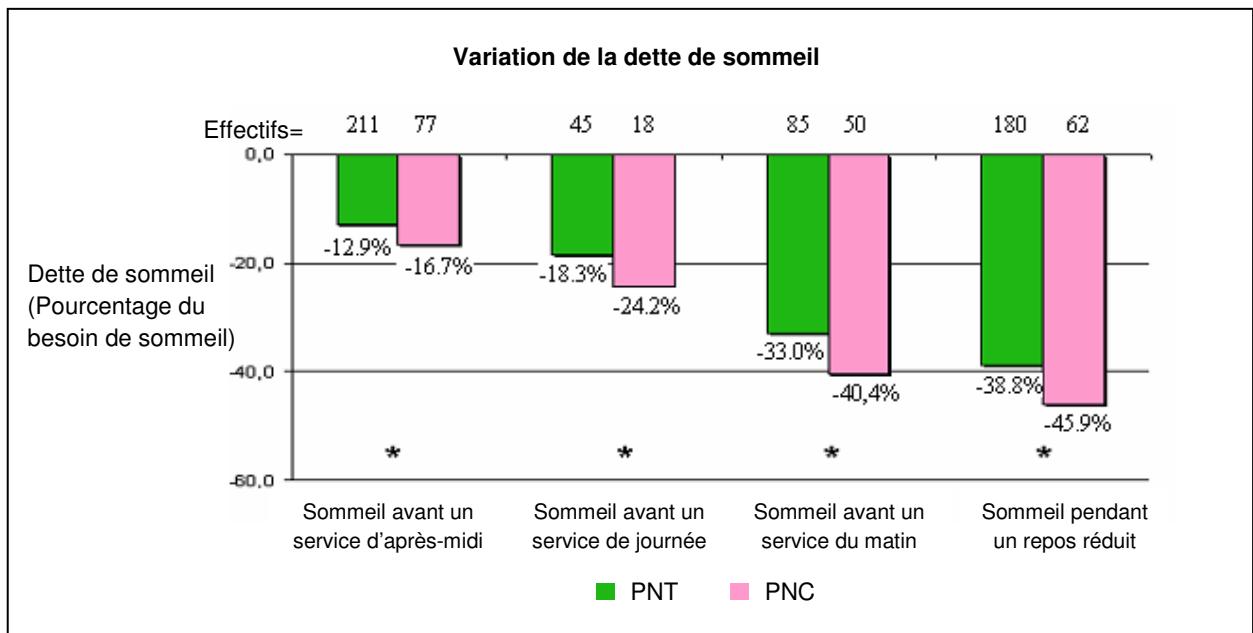


Figure n°8. Dette de sommeil au cours de différents types de service.

Comparaison PNT/PNC

La classification suivante a été adoptée :

Service du matin : prise de service entre 3h00 et 7h59 – Service de journée : prise de service entre 8h00 et 10h59 – Service d'après-midi : prise de service entre 11h00 et 14h59

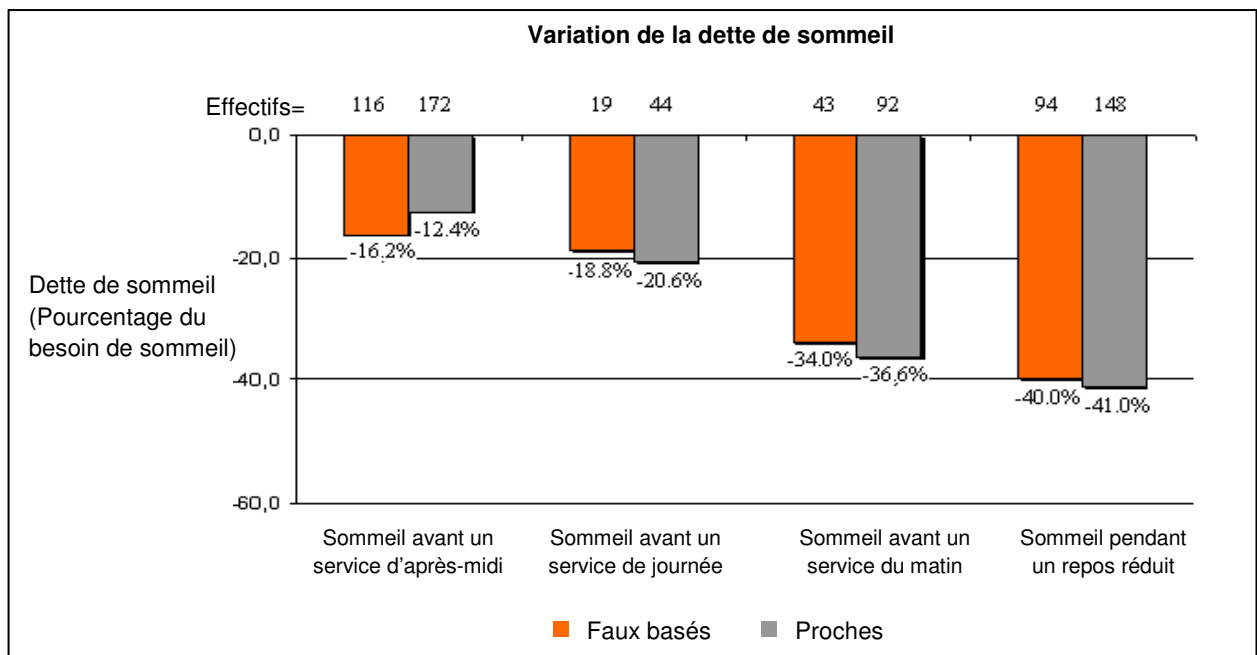


Figure n°9. Dette de sommeil au cours de différents types de service.

Comparaison des PN faux basés et des PN vivant proche de leur base.

Les résultats de mesure de dette de sommeil précédant un service du matin (avec repos normal) et précédant un service après repos réduit figurant ci-dessus sont corroborés par les réponses des PN aux questionnaires : 69% d'entre eux jugent la durée du sommeil insuffisante dans le cas d'un service du matin (avec repos normal) et 86% dans le cas d'un repos réduit. Il est rappelé que la durée normale d'un repos est au minimum de 10h en escale et de 12h à la base.

La qualité du sommeil est jugée plutôt bonne, voire très bonne, pour 73% des personnels durant la nuit précédant un service du matin, que le repos soit normal ou réduit (voir figure n° 10)

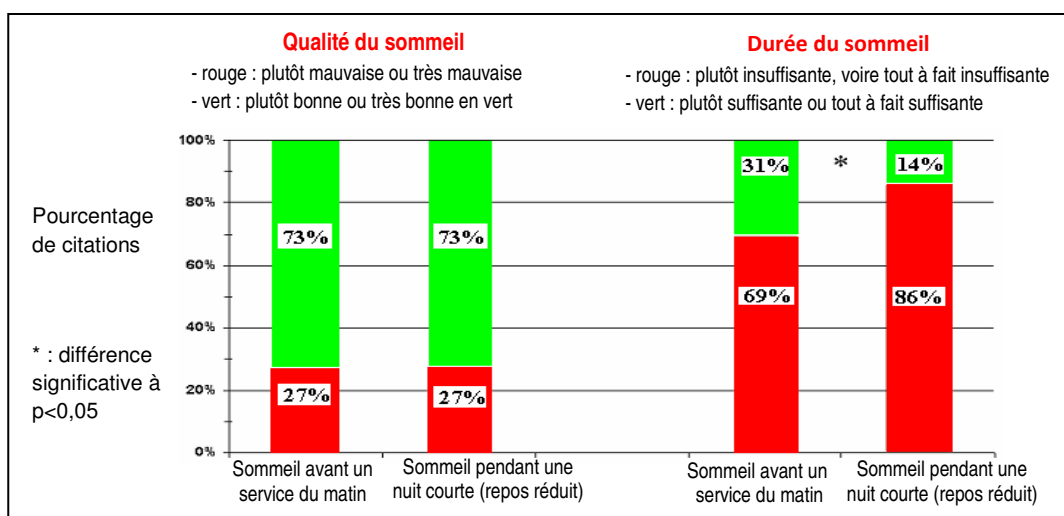


Figure n°10. Qualification du sommeil pour les services du matin.

5.2.2.2 Somnolence, fatigue et manifestations de la fatigue

L'analyse de la fatigue en relation avec le type de service est issue des données recueillies dans l'agenda. Le niveau de fatigue a été estimé par les PN en début et en fin de service.

Globalement, les résultats montrent que les catégories de PN ne vivent pas l'organisation des vols de la même manière :

- En termes de contrainte, de fatigue et de somnolence, les PNT ne « jugent » pas forcément très différemment les rotations 3/3 (3 étapes le 1^{er} jour – repos réduit – 3 étapes le 2^{ème} jour) et 5/3 (5 étapes le 1^{er} jour – repos réduit – 3 étapes le 2^{ème} jour). Ils considèrent que les vols après le repos réduit ne sont pas plus « pénibles » que les derniers vols des services de jour ou de matins successifs.
- Les observations sur les PNC s'avèrent bien différentes. La rotation 5/3 est mal vécue. La fatigue, la somnolence et les niveaux de contrainte augmentent considérablement dès le quatrième vol du service d'après-midi avant le repos

réduit. Les niveaux restent importants sur le reste de la rotation et sont même plus élevés que ceux observés pendant les vols des services du matin et des services successifs du matin.

5.2.2.3 Observations en vol

a. Méthode

De manière à rendre le recueil de données le plus homogène possible, il a été recherché que les plannings des PN observés soient à peu près équivalents dans les jours précédant l'observation. Pour cela, ont été privilégiées les observations au cours de rotations comportant des repos réduits et services fractionnés. Pour des raisons pratiques, seul les PNT ont pu faire l'objet d'observations directes.

Les manifestations de la fatigue dans les activités professionnelles que décrit la littérature scientifique, aéronautique ou non, sont nombreuses. Ces éléments, combinés aux résultats d'entretiens, ont permis de dresser une liste des comportements potentiellement sensibles à la fatigue ainsi que les comportements de détection et récupération. Sur cette base et sur la base du déroulé précis de la rotation, une grille d'observation a été élaborée afin de formaliser les observations de l'activité des équipages. Elles ont respecté un cadre très précis tout au long de la rotation. La méthodologie s'est inspirée des critères "Normal Operation Monitoring" préconisés par IATA et OACI, tout en sachant que la démarche était, pendant l'étude STARE, au stade de la recherche scientifique.

Ainsi, à partir des manifestations comportementales listées en lien potentiel avec la fatigue que l'on peut observer en cockpit, les données ont permis de rapporter à la fois les informations contextuelles, le déroulé chronologique du vol avec les actions de l'équipage et les manifestations observées en relation avec des évolutions de comportements.

L'ensemble des grilles d'observations a été traité de la façon suivante. Les faits remarquables observés ont été collationnés afin d'être catégorisés. Chaque fait remarquable a été classé dans une catégorie. Il a ensuite été mentionné qui en était à l'origine (PF (pilote en fonction), PNF (pilote non en fonction) ou équipage), s'il avait été détecté et récupéré, par qui et comment.

Chaque fait observé a été mis en correspondance dans le vol de la rotation où il est survenu avec les auto-évaluations de la fatigue par les PNT ainsi qu'avec les critères chronobiologiques de fatigue. Il est ainsi possible de faire des traitements en fonction du niveau de fatigue et de somnolence des personnels, ainsi que suivant le rang de l'étape dans les rotations avec nuit courte. Sur 35 rotations, 874 faits ont été collationnés.

b. Résultats

Les niveaux élevés de fatigue et de somnolence ont tendance à se traduire par une augmentation du nombre de faits observés (figure n°11) ainsi que par une baisse de l'auto-détection individuelle. On note des différences entre PF et PNF, les PF ayant généré moins de faits (figure n°12) et en ayant détecté plus alors que c'est l'inverse avec les PNF. Parmi les faits les plus fréquemment observés, les oublis (21,6 % de la totalité des faits), l'application mauvaise ou incomplète de procédures (17,4 %), les ratés d'exécution, la non perception d'informations et la confusion dans la mémorisation (chacune de ces trois catégories à un peu plus de 10%).

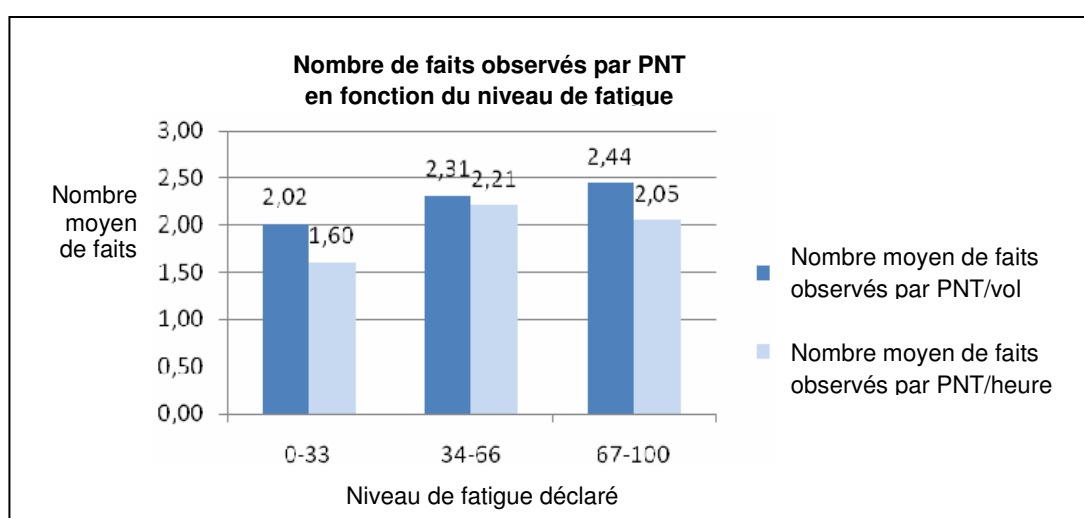


Figure n°11. Faits observés par PNT en fonction du niveau de fatigue

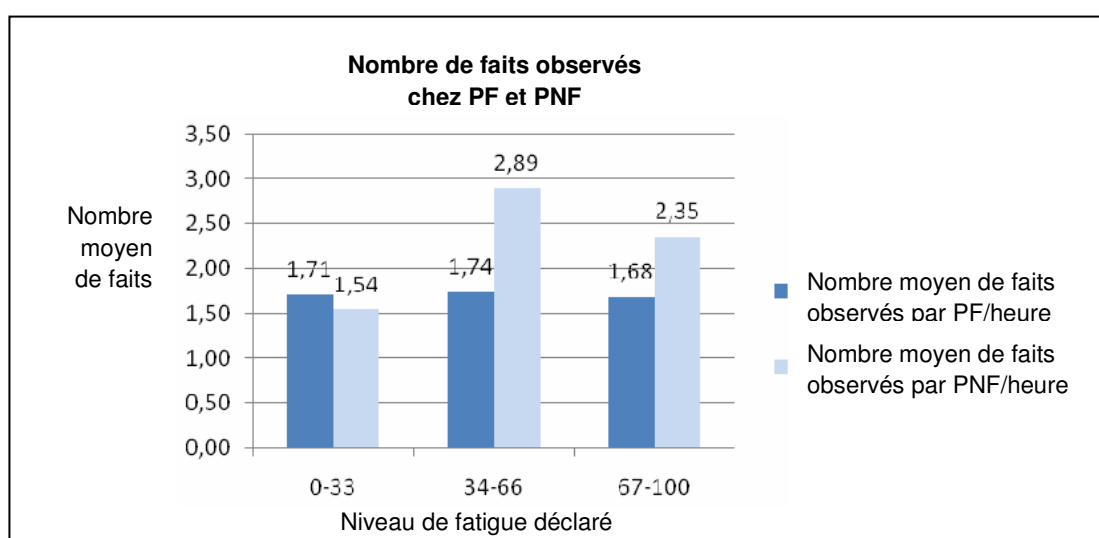


Figure n°12. Faits observés chez les PF et PNF en fonction du niveau de fatigue

Au niveau de l'équipage, le niveau de fatigue intermédiaire est celui pour lequel le plus de faits sont observés. Ces résultats vont dans le sens de la mise en place mécanismes de régulation au sein de l'équipage qui dépendent du niveau de fatigue de chacun des membres d'équipage et de leur fonction (PF ou PNF).

Si l'on compare enfin l'évolution du nombre de faits observés en fonction du niveau de fatigue, entre équipage constitué (figure n°13) et niveau individuel, on constate qu'il n'y a pas sommation du nombre de faits observés dans un équipage dont les membres ont des niveaux élevés de fatigue. On peut là-encore faire l'hypothèse de la mise en place de mécanismes de régulation dans la gestion de l'activité au sein des équipages pour des niveaux élevés de fatigue.

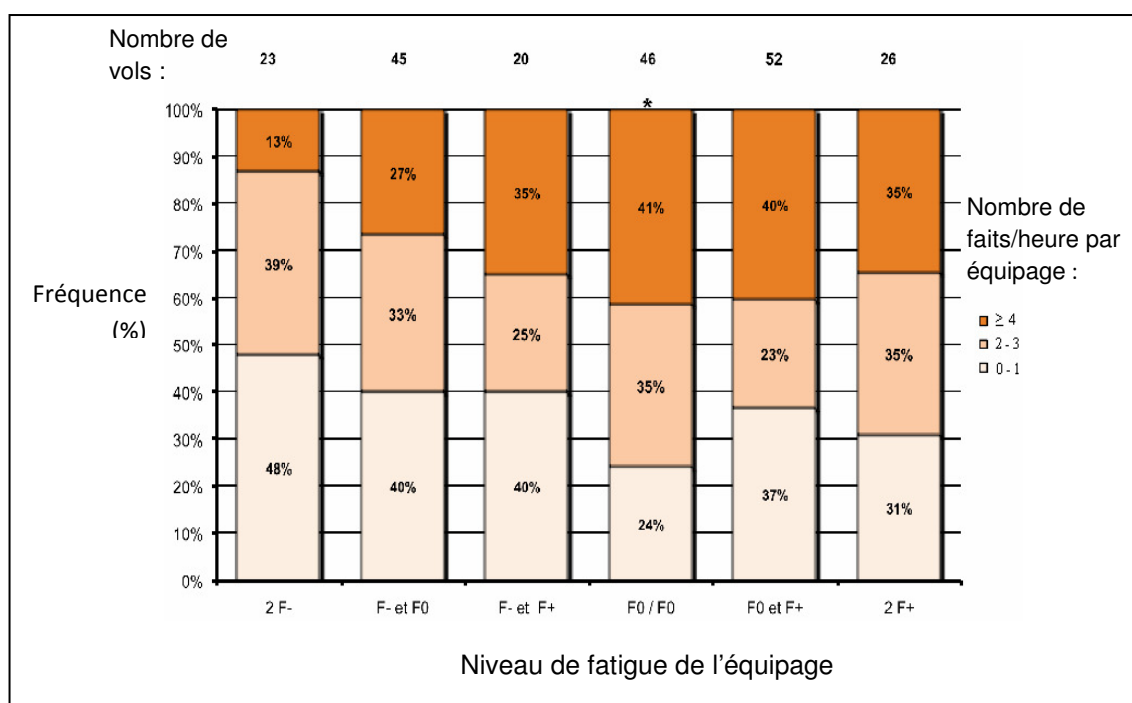


Figure n°13. Evolution du nombre de faits par équipage Analyse en fonction des « typologies de fatigue » (cf. figure n°5)

Les résultats des observations mettent en évidence l'utilité de l'observation en vol des équipages pour mieux appréhender les évolutions comportementales et les manifestations de la fatigue. Les observations se doivent de respecter certaines règles contraignantes pour être valides (neutralité, protocole strict d'observation, normes internationales IATA et OACI sur le 'Normal Operation Monitoring', ...). Ce constat dressé, l'observation en vol ne peut être utilisée en première intention dans la cadre d'un SGS-RF.

5.2.2.4. Approche prédictive des durées de sommeil et des niveaux de somnolence

Dans la perspective de leur utilisation dans les SGS-RF, il apparaissait important de tester l'utilisation d'un modèle prédictif, notamment dans ses capacités à prédire le sommeil et le niveau de somnolence des PN en fonction des rotations. Le modèle Sleep Wake Predictor a donc été appliqué d'une part sur les repos étudiés ; les durées de sommeil prédites ont été comparées à celles observées (paragraphe a). Il a d'autre part été utilisé pour évaluer la somnolence à la fin de chacune des étapes de rotations avec repos réduits ; les somnolences prédites ont été comparées aux somnolences déclarées (paragraphe b).

a. Durées de sommeil

La figure n°14 présente le nuage de points qui établit la comparaison entre l'amplitude « réelle » (déclarée) de sommeil et l'amplitude « prédite » par le modèle.

Le nuage de points fait ressortir deux ensembles de données. Un premier nuage de points situés vers des valeurs faibles, correspondant aux durées de sommeil au cours des repos réduits, et un second nuage situé vers des durées nettement plus élevées correspondant aux sommeils pendant les services de jour et au cours des repos.

Pour les sommeils liés à un service, la corrélation, significative, s'élève à 0,695 (Rho Spearman = 0,7145 ; $p < 0,001$).

L'observation du nuage de points révèle toutefois une dispersion importante des valeurs, plus prononcée pour les sommeils précédant un repos, avec une tendance à la surestimation des durées de sommeil par le modèle. Cette dispersion est due notamment à la variabilité interindividuelle.

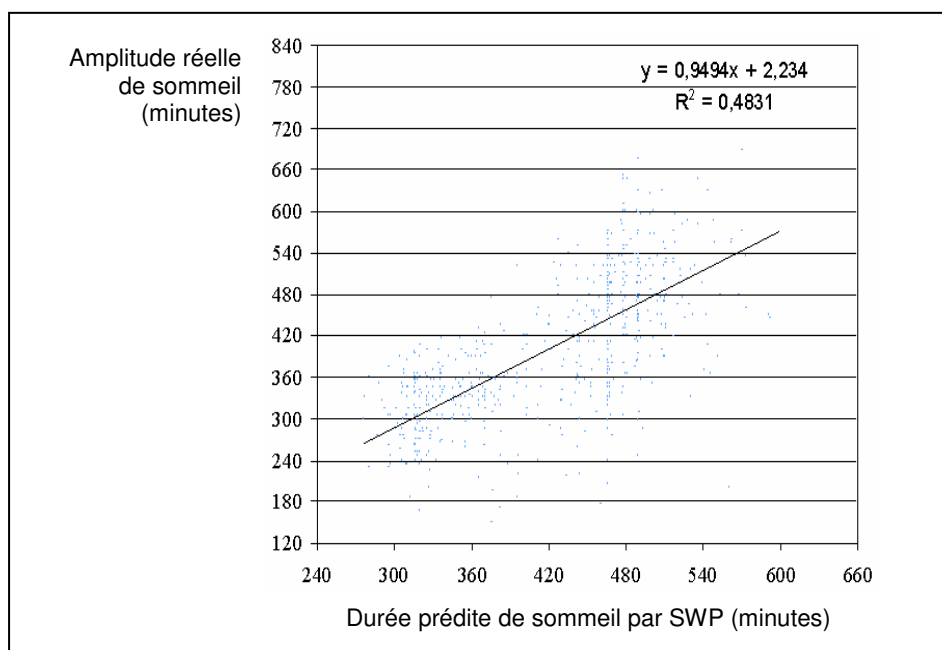


Figure n° 14. Corrélation entre les durées de sommeil prédites par le modèle SWP et les durées de sommeil réelles.

b. Niveaux de somnolence

Le deuxième résultat important concernant ce recueil de données porte sur les évaluations de la somnolence à la fin de chaque étape pour les rotations comportant un repos réduit de type 3/3 (figure n° 15), de type 5/3 (figure n° 16) et comportant un service fractionné (figure n° 17).

Les résultats des évaluations réalisées en vol sont comparés aux valeurs prédites par le modèle SWP. Les valeurs présentées correspondent à l'évaluation subjective des PN sur une échelle de 0 à 9. Pour rappel (cf. 5.1.1), un niveau de somnolence supérieur ou égal à 7 est considéré comme « critique » dans la mesure où il est relié à des signes physiologiques de somnolence et à une dégradation des performances.

Aucune différence significative n'est mise en évidence entre les valeurs prédites et les valeurs observées au cours de la rotation 3/3 (figure n° 15). En d'autres termes, le modèle SWP prédit convenablement le niveau moyen de somnolence. Toutefois, il convient de noter une très grande dispersion des valeurs observées autour de la moyenne en raison de la variabilité interindividuelle et des autres sources de fatigue.

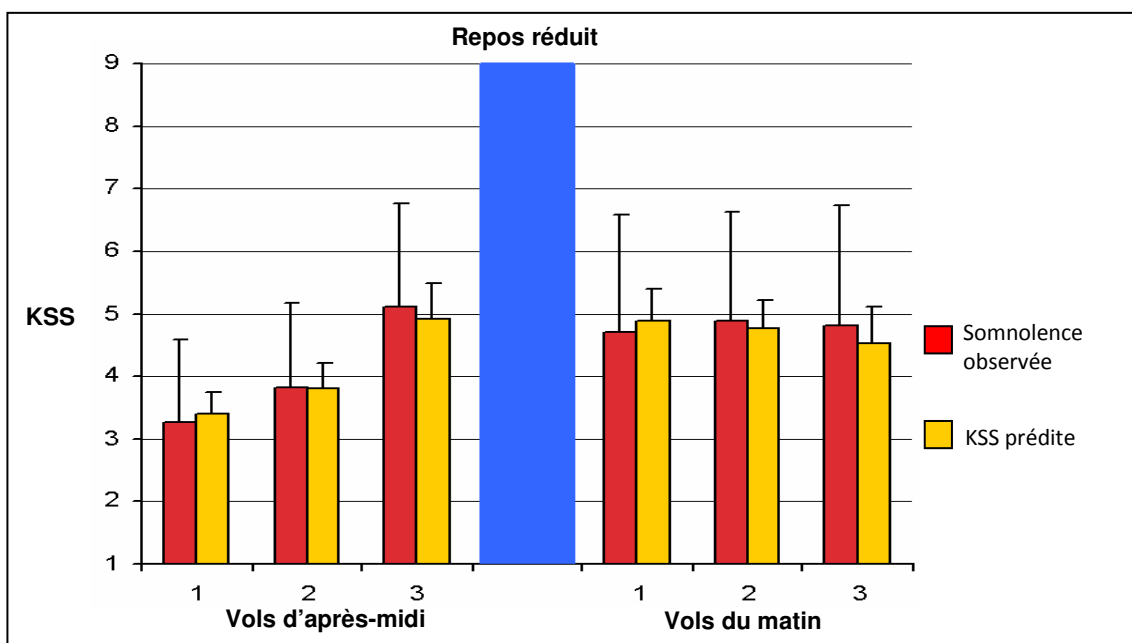


Figure n°15. Comparaison des niveaux de somnolence relevés et prédits
Rotation 3/3 – N = 57 personnels navigants

Concernant la rotation 5/3, des différences significatives sont observables au cours des vols 1, 2 et 4 avant le repos réduit (figure n°16). Le modèle surestime le niveau de somnolence en début d'après-midi pour les vols 1 et 2. L'activité importante aux premiers vols d'après-midi pourrait limiter la prise de conscience de la baisse de vigilance du début d'après-midi par les PN.

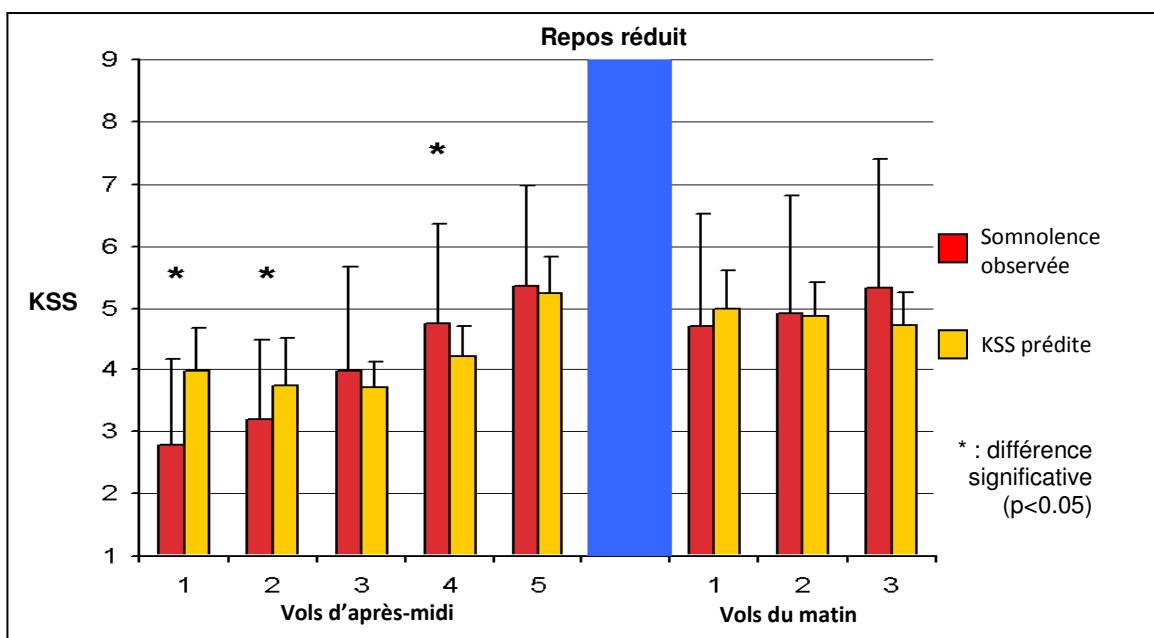


Figure n°16. Comparaison des niveaux de somnolence relevés et prédits
Rotation 5/3 – N = 45 personnels navigants

A l'inverse, au cours du quatrième vol, le niveau moyen de somnolence indiqué par les PN s'avère significativement plus élevé que le niveau de somnolence prédit par le modèle SWP. L'accumulation de fatigue et la lassitude pourraient être à l'origine de cette différence. Une telle différence n'est pas constatée après le vol 5, en fin de service, probablement en raison de la motivation liée à l'arrêt de l'activité. Il faut noter que les évaluations sont réalisées sur des vols qui précèdent le repos réduit, donc sans lien direct avec ce dernier.

Enfin, pour les rotations 5/3, on observe que les valeurs moyennes de somnolence des étapes après repos réduit sont comparables entre elles et comparables à celle du vol 5 de la première journée. Le même constat peut être fait sur les rotations 3/3.

La figure n°17 présente les mêmes données pour les rotations comportant un repos réduit et un service fractionné. Il est à noter que ces résultats portent sur un nombre plus restreint de données (10 PN). Au cours de la journée comportant un service fractionné, les niveaux de somnolence restent modérés à la fin de la journée, légèrement inférieurs à ceux obtenus à la fin de la première journée des rotations 3/3 et 5/3 (cf figures n°15 et 16). Au cours de l'étape qui suit le repos réduit, on note également un niveau de somnolence inférieur à celui constaté pour les rotations 3/3 et 5/3.

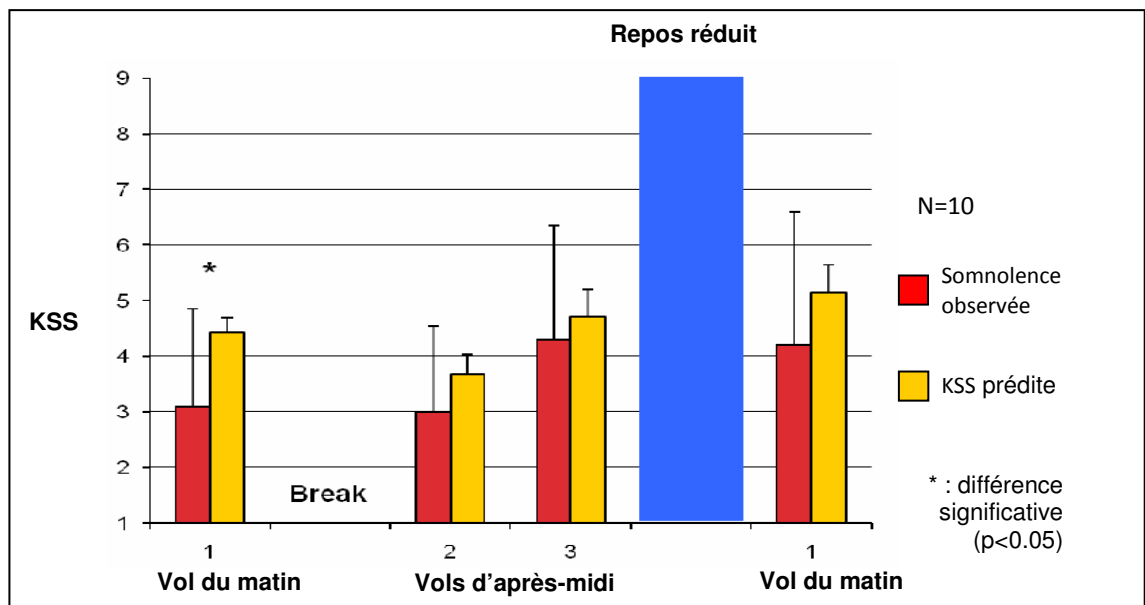


Figure n°17. Comparaison des niveaux de somnolence relevés et prédits Rotations service fractionné/repos réduit – N = 10 personnels navigants

6 - CONCLUSIONS

Les objectifs de ce projet étaient de valider un ensemble de méthodologies scientifiques susceptibles d'être utilisées dans le cadre d'un SGS-RF tel qu'il est requis pour les compagnies aériennes françaises ayant recours à des repos réduits et à des services fractionnés.

Au terme de ce projet, il s'avère que la méthodologie adoptée permet de préciser, confirmer ou infirmer certains éléments relatifs à l'appréciation de la fatigue. Aussi les principaux résultats suivants ont-ils pu être mis en évidence :

- L'analyse du niveau de risque de fatigue par des modèles prédictifs, réalisée pour les services matinaux suivant un repos réduit, montre que ce risque varie grandement d'un planning à l'autre. Cependant, seul 6% des services de ces services présentent une probabilité supérieure à 30% d'engendrer un niveau de fatigue dit « critique ».
- La variabilité du niveau de risque de fatigue constatée lors de l'analyse des plannings par ces mêmes modèles prédictifs montre que ce risque doit être géré à l'échelle des plannings (dimension cumulative de la fatigue) : il est ainsi pertinent d'évaluer l'association des repos réduits avec d'autres services susceptibles d'induire une dette de sommeil importante.
- On note un déficit relatif de sommeil significativement plus élevé au cours des repos réduits que pour les services du matin, phénomène inhérent à la durée limitée de ces repos. A l'inverse, la qualité du sommeil lors d'un repos réduit est jugée bonne voire très bonne par la grande majorité des PN.
- Pour les rotations comportant un repos réduit, on note un niveau de somnolence moyen au cours des vols du matin après repos réduit proche de celui observé lors des derniers vols de la journée précédant le repos réduit, traduisant une faible récupération au cours du repos

En revanche, il n'a pu être établi de différence significative dans les durées de sommeil entre personnels vivant près ou loin de leur base. De manière similaire, l'analyse de l'absentéisme de façon systématique n'a pas permis de dégager de corrélation avec le niveau de fatigue des équipages.

S'agissant de l'utilisation des données recueillies au sein des compagnies en tant qu'indicateurs d'un niveau de risque de fatigue, certaines corrélations ont pu être établies entre le niveau de risque fatigue et les occurrences de remontées d'ASR et d'événements ASV. Ces données ne sont toutefois pas directement « exploitables » pour évaluer un

risque fatigue. Seul des traitements statistiques appropriés permettent de faire ressortir des résultats significatifs. On constate notamment :

- pour les équipages dont le risque fatigue évalué est élevé, un nombre significativement moindre d'événements ASV toutes sévérités confondues et plus important d'événements ASV de sévérité élevée que pour les équipages dont le risque fatigue est faible. Ces résultats, même s'ils ne sont valides que pour une flotte et une compagnie spécifiques montrent l'intérêt de cet indicateur pour le suivi du risque fatigue.
- Il n'existe pas une relation linéaire entre la durée du service et le taux d'ASR ni entre le niveau de fatigue de l'équipage constitué et le nombre de faits (oublis, ratés d'exécution, ...) observés en vol. Ainsi les durées de vol intermédiaires et les niveaux de fatigue intermédiaires sont ceux pour lesquels, respectivement, le plus d'ASR et le plus de faits sont constatés. Dans le même ordre d'idées, les observations en vol ont montré que le nombre de faits observés auprès d'un équipage constitué n'est pas égal à la somme des faits observés individuellement dans les équipages dont les membres ont des niveaux de fatigue élevés.

Enfin, les modèles prédisent en moyenne correctement le sommeil et la fatigue mais certains ne rendent pas compte de la variabilité interindividuelle ni des autres sources de fatigue, liées à l'activité ou à la vie sociale notamment. Ces modèles peuvent donc constituer des outils utiles pour le SGS-RF mais ne sauraient en être le seul élément. Leur utilisation conjointe avec d'autres indicateurs, tels qu'établis au cours du projet STARE, peut néanmoins apparaître pertinente.