

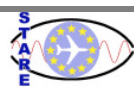
ANTHROPOLOGIE APPLIQUEE

45, rue des Saints-Pères 75270 PARIS Cedex 06
Téléphone : 01 42 86 20 41 - 01 42 86 20 34

**MISE EN ŒUVRE D'UN OBSERVATOIRE SUR LA
SECURITE DU TRANSPORT AERIEN REGIONAL
FRANÇAIS VIS-A-VIS DU RISQUE DE FATIGUE ET
DEVELOPPEMENT D'UNE METHODOLOGIE POUR UN
SYSTEME DE GESTION DU RISQUE FATIGUE AU SEIN
D'UNE COMPAGNIE AERIENNE**

DOC AA 584/2009

NOVEMBRE 2010



SOMMAIRE

	Pages
1 - INTRODUCTION ET OBJECTIFS	1
1.1 - Etat actuel des connaissances scientifiques sur la fatigue	1
1.2 - Objectifs et présentation du consortium	7
2 DEMARCHE ADOPTEE	8
3 - ENTRETIENS AVEC LES PERSONNELS DES COMPAGNIES	10
3.1 – Les facteurs de fatigue.....	10
3.2 – Les manifestations de la fatigue	12
3.3 – Modalités de gestion de la fatigue	13
3.4 – Entretien avec les médecins du travail	14
4 - OBSERVATOIRE SYSTEMATIQUE	15
4.1 – Analyse des plannings	15
4.1.1 – Analyse de la conception et de la gestion des plannings	16
4.1.2 – Recueil des données.....	20
4.1.3 – Méthode d’analyse de données.....	22
4.1.4 – Résultats.....	39
4.2 – Analyse des ASR	45
4.2.1 – Démarche suivie	45
4.2.2 – Analyses qualitatives liées aux distributions des ASRs sur 24h	48
4.2.3 – Classement de l’ASR par expert opérationnel en fonction du lien de l’événement avec la fatigue (méthode exploratoire)	56
4.2.4 – Méthode élémentaire de base : Recherche de la fatigue avérée	63
4.2.5 – Analyse croisée avec plannings (analyse quantitative)	64
4.2.6 – Conclusions	69
4.3 – Analyse des événements issus des ASV.....	70
4.3.1 – Méthode	71
4.3.2 – Données traitées.....	78
4.3.3 – Résultats statistiques.....	78
4.3.4 – Conclusions et recommandations	97
4.4 – Analyse de l’absentéisme.....	98
4.4.1 – Données d’absentéisme	99

.../...

5 - OBSERVATOIRE CIBLE.....	108
5.1 – Enquête web	108
5.1.1 – Objectifs.....	108
5.1.2 – Méthode	108
5.1.3 – Traitements et tests statistiques	110
5.1.4 – Résultats.....	111
5.1.5 – Synthèse des résultats	144
5.2 – Recueil de données au cours des rotations	147
5.2.1 – Objectifs.....	147
5.2.2 – Méthode de recueil de données	147
5.2.3 – Hypothèses de travail.....	153
5.2.4 – Bilan des données	154
5.2.5 – Bilan des questionnaires	157
5.2.6 – Caractérisation de l'échantillon	159
5.2.7 – Résultats.....	163
5.2.8 – Synthèse des résultats	223
5.2.9 – Comparaison des données prédites par le modèle et des données observées.....	227
6 - SYNTHESE ET RECOMMANDATIONS.....	238
- BIBLIOGRAPHIE.....	246
- APPENDICE	248

* * * *

1 – INTRODUCTION ET OBJECTIFS

Ce rapport présente 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 la Compagnie 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).

Ce projet fait suite à une étude menée en 2006 (Mollard et al, 2006) qui avait permis d'établir les connaissances scientifiques de bases pouvant servir au projet. Une première série d'entretiens et d'observations en vol avait également permis d'appréhender la problématique au sein des compagnies aériennes.

1.1 Etat actuel des connaissances scientifiques sur la fatigue

Avant d'aborder les objectifs précis et la démarche adoptée dans ce projet, il paraît nécessaire de résumer l'état actuel des connaissances scientifiques sur la fatigue autour de 4 axes essentiels :

- Définition et mécanismes d'installation de la fatigue
- Fatigue aigue versus fatigue chronique
- Fatigue et sécurité
- Les systèmes de gestion du risque fatigue

a) Définition et mécanismes d'installation de la fatigue

La fatigue des équipages est unanimement reconnue comme un risque pour la sécurité. Ce risque a été classé par le NTSB parmi les 7 "most wanted" et identifié à l'origine de plusieurs accidents et incidents graves (NASA, 1999). Il n'existe pas de réel consensus sur une définition de la fatigue y compris dans la littérature scientifique. Cette absence de consensus reflète le caractère multidimensionnel du concept de fatigue. D'une manière très générale, on peut la définir comme un état physiologique et psychologique reflétant un besoin de récupération (figure n°1) Ce processus de récupération correspond à deux types de manifestations de la fatigue distinctes:

- les manifestations associées à la somnolence ou tendance à l'assoupissement. Ces manifestations sont principalement générées par trois processus :
 - o Le processus C ou Circadien régulé par l'horloge biologique qui induit une variation temporelle du niveau d'éveil avec principalement une réduction entre 0h et 6h.
 - o Le processus S, ou pression du Sommeil qui augmente avec la durée de la veille.
 - o Le processus W qui correspond à l'état d'inertie du sommeil (état transitoire de somnolence qui suit le réveil et se dissipe progressivement).

Le processus de récupération associée à la somnolence correspond au déclenchement du sommeil. Ces processus sont affectés par de nombreux facteurs internes (individu « du matin » ou « du soir », « petit » ou « gros dormeur » préoccupations personnelles,..) et externes au sujet (température ambiante, bruit,..).

- Les manifestations de type fatigue mentale, physique et musculaire associées à l'amplitude de service et à la charge de travail. Le processus de récupération correspond ici à l'arrêt de l'activité.

Dans la plupart des situations, ces deux formes de fatigue coexistent. Néanmoins, la plupart des travaux scientifiques, notamment ceux menés dans le transport aérien ont concerné essentiellement la dimension somnolence de la fatigue. Les développements récents de ces travaux ont notamment permis la mise au point d'outils de prédictions de la fatigue (modèles prédictifs de la fatigue).

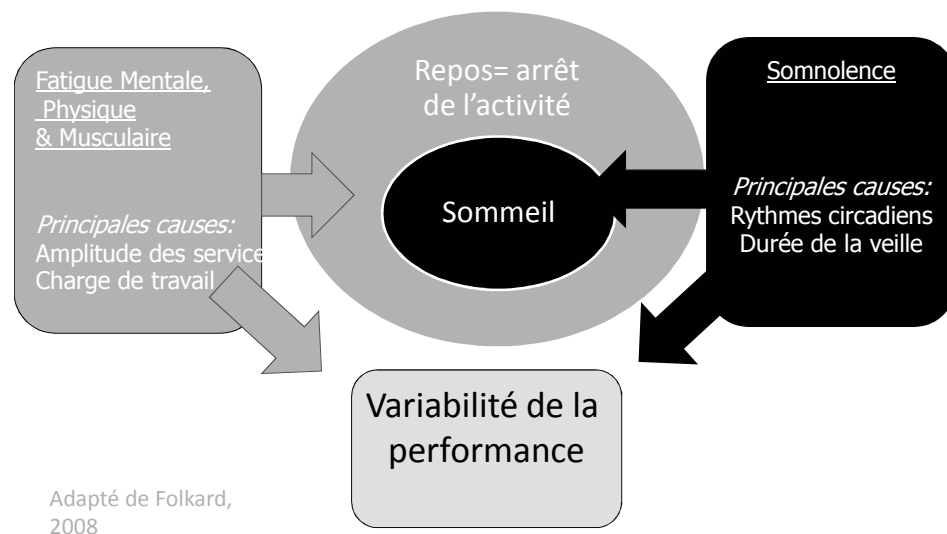


Figure n°1. Définition générale de la fatigue

b) Fatigue aiguë versus fatigue chronique

Une autre distinction doit être également faite selon le mode d'installation et de récupération de la fatigue au cours du temps

- Aiguë, à l'échelle des 24 heures, par exemple une privation de tout ou partie du sommeil. Selon l'ampleur de la dette de sommeil, elle sera récupérée en 1 ou plusieurs nuits
- Chronique, à l'échelle de la semaine ou du mois. Elle est récupérée plus lentement et nécessite un repos sur plusieurs jours.

Des travaux récents suggèrent que la fatigue chronique peut avoir les mêmes effets sur les performances cognitives qu'une fatigue aiguë. Ainsi une privation répétée de sommeil sur plusieurs jours conduit à la même dégradation des performances qu'une privation de sommeil d'une nuit entière (Van Dongen et coll., 2003).

Il est essentiel de rappeler que la fatigue est, dans la majorité des cas (en dehors d'état de fatigue liés à des pathologies) est un phénomène physiologique normal et réversible qui reflète un besoin de récupération (comme la faim qui traduit le besoin de prise alimentaire). Néanmoins, les privations de sommeil ou les décalages des rythmes biologiques répétés sur plusieurs années sont

susceptibles de conduire à des états pathologiques relevant de la médecine du travail.

c) Fatigue et sécurité

Lorsqu'on envisage la mise en œuvre d'un SGS-RF, l'une des questions centrales concerne la relation entre la fatigue et le niveau de sécurité. Plusieurs travaux scientifiques suggèrent que ce lien n'est pas totalement linéaire : une augmentation du niveau de fatigue ne produit pas systématiquement et proportionnellement une augmentation du risque. Folkard et Akerstedt (2004) postulent que des niveaux de fatigue très bas pourraient créer un niveau de confiance élevé chez l'opérateur qui aurait tendance à moins contrôler sa performance. Ceci semble d'autant plus vrai dans les systèmes dits complexes tels que l'aéronautique où le travail en équipage et l'automatisation sont susceptibles « d'amortir » l'impact de la fatigue sur la performance. L'un des éléments critiques qui semble impacter le lien entre fatigue et le niveau de sécurité est le degré de conscience de sa propre fatigue (Cabon et coll., 2008). En effet, lorsqu'un individu est conscient de sa fatigue, il tend à mettre en place des stratégies soit pour réduire son niveau de fatigue soit pour éviter que ce niveau de fatigue ne dégrade sa performance. Ces stratégies sont d'autant plus efficaces pour des niveaux de fatigue intermédiaires. A des niveaux élevés, la fatigue présente un risque pour la sécurité du fait de la dégradation des performances (augmentation des temps de réponse, dégradation de la conscience de la situation, dégradation de l'humeur, réduction des communications au sein de l'équipage,...).

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 extraprofessionnelles. 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 le 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.

d) Les Systèmes 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 20ème 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, 2004). 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., 2002). 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 cas par cas. On trouvera un historique et une revue de ces SGS-RF dans Gander et coll. (sous presse).

Dans le transport aérien, les autorités de l'Aviation Civile de Nouvelle-Zélande ont été pionnières dans ce domaine. Depuis 1995, elles proposent aux Compagnies aériennes :

- soit d'appliquer une réglementation des temps de service et de repos en vigueur (Civil Aviation Authority of New Zealand, 2000),
- soit d'appliquer une approche beaucoup plus flexible sur le plan des limites mais avec une obligation de prendre en compte le risque fatigue, système apparenté à un SGS-RF (Civil Aviation Authority of New Zealand, 2007 a-c).

Si la compagnie choisit l'option SGS-RF, elle est assistée dans la mise en œuvre par l'autorité. Dans le cas où elle choisit de conserver la réglementation des temps de service elle est néanmoins encouragée à mettre en place un SGS-RF. Dans ce contexte, Air New Zealand, a créé depuis plusieurs années un comité de suivi de ce SGS-RF, comité regroupant des représentants de la Direction, du Personnel, des responsables des plannings, des médecins et des experts scientifiques reconnus dans le domaine. Ce comité est en charge de mener des évaluations de fatigue et des simulations à partir de modèles prédictifs de la fatigue.

A ce jour, le principe du SGS-RF a également été récemment appliqué par deux compagnies aériennes : d'abord 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, 2007) puis par EasyJet pour la mise en place de nouvelles rotations court-courrier (Steward, 2006). 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.

1.2 Objectifs et présentation du consortium

L'objectif précis du projet STARE est la mise en place d'un observatoire de la sécurité du transport aérien régional français vis-à-vis du risque de fatigue ainsi que le développement des **bases scientifiques d'un futur SGS-RF** utilisable par les compagnies dans le contexte de l'EU-OPS (repos réduits et services fractionnés). Outre le recueil et l'analyse des données scientifiques présentées dans ce rapport, le projet a pour objectif de fournir deux livrables :

- un guide de recommandations pour aider les compagnies à la mise en œuvre du SGS-RF,
- un guide de recommandations pour aider l'autorité à approuver le processus de mise en œuvre du SGS-RF.

Compte tenu des aspects multifactoriels associés à la fatigue et au niveau de sécurité, le projet a été mené par un consortium regroupant des équipes possédant des expertises complémentaires :

- Le LAA pour son expertise sur les questions de fatigue en aéronautique développée depuis plus de 20 ans et son implication dans des réseaux de recherches internationaux (European Committee for Aircrew Scheduling and Safety, ECASS)
- Air France Consulting pour son expérience opérationnelle et son expérience dans l'analyse des retours d'expérience
- L'ONERA, pour l'analyse des paramètres de vols,
- SynRjy, pour sa compétence dans les Facteurs Humains et la gestion des risques en aéronautique.

La répartition des rôles de chacun des partenaires est présentée dans le chapitre 2.

Ce projet a été mené en collaboration étroite avec trois compagnies régionales françaises : 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.

Le LAA menant des collaborations avec Airbus sur des sujets identiques dans le domaine des vols long-courriers, le constructeur a été associé au projet comme partenaire.

2 - DEMARCHE ADOPTEE -

Le principe général de la démarche adoptée au début du projet est de développer des indicateurs scientifiquement validés et utilisables par des compagnies aériennes pour contrôler et gérer le risque fatigue. Une partie importante de ces indicateurs est d'ores et déjà existante dans la compagnie mais leur traitement n'est pas orienté vers le suivi du risque fatigue. D'autres indicateurs ne sont pour l'instant pas gérés par les compagnies mais ont été retenus pour le projet car ils sont utilisés par d'autres compagnies aériennes ou d'autres industries à l'étranger.

Les principes et les différentes phases de la démarche sont présentés sur la figure n°1. Les premières étapes ont consisté à réaliser une analyse de l'ensemble des plannings des équipages puis à appliquer une analyse chronobiologique sur un échantillon de ces plannings. Cette analyse permet de discriminer des séquences « typiques » en terme de risque fatigue. Une fois ces séquences identifiées, elles ont été croisées avec des indicateurs contenus dans deux observatoires distincts :

- 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. L'autre 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 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.

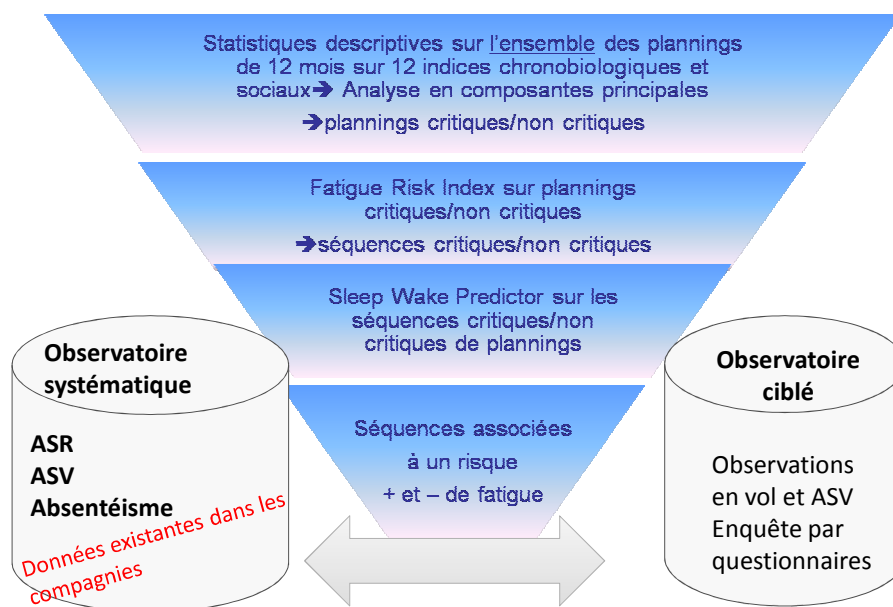


Figure n°2. Présentation générale de la démarche du projet STARE

Le tableau 1 présente la répartition des rôles de chacun des partenaires dans le recueil et de l’analyse des données.

LAA	Coordination du consortium Analyse des plannings Observatoire ciblé (recueil de données en vol et enquête par questionnaire)
ONERA	Analyse Systématique des Vols (ASV)
AIR FRANCE CONSULTING	Analyse des Air Safety Reports (ASR)
SYNRJY	ASV, absentéisme, observatoire ciblé (recueil de données en vol)
COMPAGNIES AERIENNES	

Tableau 1. Répartition des rôles dans le consortium STARE

3 – ENTRETIENS AVEC LES PERSONNELS DES COMPAGNIES

En préalable à la mise en œuvre des observatoires systématique et ciblé, il paraissait important de mieux appréhender la manière dont était ressentie la fatigue par les personnels dans les compagnies aériennes régionales. C'est pourquoi une série d'entretiens ont été réalisés au sein des 3 compagnies en particulier avec des cadres PNT et PNC, des responsables RH, des personnels PNT et PNC et les médecins du travail. Le tableau suivant liste les personnels rencontrés au sein des différentes compagnies.

Personnel	Compagnie X	Compagnie Y	Compagnie Z
Responsable RH	X	X	X
Médecin du travail	X	X	
Direction PNT			X
Chef PNT	X	X	X
Chef PNC	X	X	X
PNT	X	X	X
PNC 1	X	X	X
PNC 2	X		

Tableau 2. Entretiens menés au sein des compagnies

3.1 Les facteurs de fatigue exprimés

Le tableau suivant présente les principaux facteurs de fatigue identifiés par les PN lors des entretiens. Ces facteurs sont présentés sans ordre d'importance sur le poids de ces facteurs ou sur leur fréquence d'apparition. Il peut s'agir de facteurs exogènes ou endogènes à la compagnie.

Personnel navigant technique	Personnel navigant commercial
<ul style="list-style-type: none"> - Temps de transport pour rejoindre la base (région parisienne, faux basés, etc.), - Absence de réserve, - Rythme de travail, - Amplitude des rotations, - Changements de planning dus à la régulation, - 3ème étape du matin après une nuit courte, - 2ème étape après nuit courte, - Pause après la première étape du matin. 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de transport pour rejoindre la base (région parisienne, faux basés, etc.), - Mises en place, - Repos hors base, - Absence de réserve - Rythme de travail, - Amplitude des rotations, - Changement de planning dus à la régulation, - Split-duty de 4 heures car on ne se repose pas. - Dernière étape après nuit courte, - Dernière étape d'une succession de 5 étapes, - Jours déclenchables, - Saison : hiver est plus dur car froid et nuit.
	<ul style="list-style-type: none"> - Non respect des desideratas - Compatibilité des rythmes de travail avec vie sociale.
<ul style="list-style-type: none"> - Peur de ne pas se réveiller en NC : difficulté d'endormissement ou réveil avant l'heure, - Difficulté d'endormissement car excitation du vol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peur de ne pas se réveiller en NC : difficulté d'endormissement ou réveil avant l'heure, - Difficulté d'endormissement car excitation du vol.
<ul style="list-style-type: none"> - "Hurry-up" syndrome lors des escales courtes, - Répétition des étapes, - Changement d'avion au cours d'une rotation qui nécessite une nouvelle prise en compte, - Escale trop longue (> 1 heure). 	<ul style="list-style-type: none"> - Pression temporelle dans les escales courtes : <ol style="list-style-type: none"> 1) Pression du sol pour embarquer les passagers, 2) Arrivée des passagers sans que l'ordre ait été donné, 3) Préparation cabine (plus de tâches de sûreté), 4) Absence de période de relâchement (boire café, toilettes, se restaurer, gestion des affaires personnelles si besoin), - Escale trop longue (>1 heure) qui coupe le rythme : impossibilité de se reposer (NAP) car toujours dérangé, - Changement d'avion au cours d'une rotation qui nécessite une nouvelle prise en compte.
<ul style="list-style-type: none"> - Complexité de plateforme de départ et d'arrivée, - Vols à l'étranger (langue, procédures). 	<ul style="list-style-type: none"> - Pression temporelle lors des vols courts, - Nombres de passagers dont on a la charge : <ol style="list-style-type: none"> 1) Nature du service, 2) Conflits avec les passagers, 3) Passagers plus ou moins pénibles. - Fatigue physique du service à bord : gestion du galley, maniement du trolley, - Isolement lié à la porte blindée, - Nombres d'atterrissages et de décollages (grande concentration), - Travail à 2 PNC : mieux car soutien, moins bien car chacun aime faire comme il veut.
<ul style="list-style-type: none"> - Répétitivité des étapes, - Circuit Sécurité pour se rendre à l'avion sur les plateformes de grande taille. 	<ul style="list-style-type: none"> - Répétitivité des étapes, - Circuit Sécurité pour se rendre à l'avion sur les plateformes de grande taille, - Bruit activité aéroportuaire.
<ul style="list-style-type: none"> - Bruit avion, - Type avion et profil de vol (turbo-propulseur), - Aéronefs de génération ancienne avec moins d'automatismes et de systèmes d'aide, - Pannes et MEL, - Repas (froid, manque de temps, faible diversité des menus) – pas de vrai repas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ergonomie cabine (chauffage, climatisation, bruit), - Repas (froid, manque de temps, faible diversité des menus, défraîement frais de déplacement) – pas de vrai repas.
<ul style="list-style-type: none"> - Météo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Turbulences.

Tableau 3. Facteurs de fatigue exprimés

3.2 Les manifestations de la fatigue exprimées

Le tableau suivant présente les manifestations de la fatigue recueillies lors des entretiens pour les PNT et les PNC.

Personnel navigant technique	Personnel navigant commercial
<ul style="list-style-type: none"> - Tenue moins précise des éléments en finale conduisant à des approches non stabilisées, - Erreurs d'affichage de paramètres sur les systèmes : erreur de fréquence, erreur de moyen radio, - Annonces moins rigoureuses, erreur dans les annonces, - Briefings et check-lists réalisés de façon moins rigoureuse, - Se tromper de check-list, - Oubli qu'un mode est enclenché, - Engagement plus rapide du PA au décollage et déconnexion plus tardive à l'atterrissage, - Nécessité de revenir à la méthode et aux check-lists. - Augmenter le volume de la radio, - Baisser le volume de la radio, puis oublier de la remonter et faire répéter ATC, - Hypovigilance à la radio, - Doutes sur mémorisation, - Doutes sur le collationnement, - Baisse de la surveillance des tâches de fond. 	<ul style="list-style-type: none"> - Erreurs de vérification des éléments de sécurité, ne pas voir les bagages aux issues de secours, - Contrôles rapide et superficiel, ne pas regarder les ceintures, - Crainte de faire des fausses manipulations (5eme étape du soir) lors du désarmement des toboggans, - Oublis des taquets dans le galley, - Lapsus dans les annonces, - Manque de vigilance lors de l'atterrissage de la 1ere étape du matin, - Manque d'attention pour la 5eme du soir, la 1ere du matin et la dernière du matin, - Erreur dans la vérification du catering, du ménage.
<ul style="list-style-type: none"> - Erreurs sur les séquences automatisées et répétitives. 	<ul style="list-style-type: none"> - Doutes sur les actions automatisées (on pense l'avoir fait), - Oubli dans les séquences automatisées.
<ul style="list-style-type: none"> - Bâillement, bouffée de chaleur, - Lourdeur, viscosité, - Endormissement en cockpit, - Sentiment de torpeur en fin d'étape, 	<ul style="list-style-type: none"> - S'endormir une fois assis lors de l'atterrissage ou du décollage, - Dormir dès que l'on peut, dans les fauteuils aux escales, dans la navette, - Sensation de lourdeur dans sa tête.
	<ul style="list-style-type: none"> - Isolement du PNC, - Altération des communications.
	<ul style="list-style-type: none"> - Modification de l'humeur, énervement, - Perte de l'attitude commerciale, perte du sourire, - Service moins rigoureux.

Tableau 4. Manifestations de la fatigue exprimées

	<ul style="list-style-type: none"> - Absentéisme (réaction à des congés non accordés), - Moindre prétexte pour débarquer.
	<ul style="list-style-type: none"> - Otites barotraumatiques, - Maux de dos, - Œdèmes des membres inférieurs, varices.
- Faible turn-over des PNT.	- Faible turn-over des PNC, même s'il est plus important que pour les PNT.
- Souhait de travail à temps partiel (accordé en fonction des effectifs).	- Souhait de travail à temps partiel (accordé en fonction des effectifs). Permet de mieux gérer les contraintes du métier, pour se ressourcer.

Tableau 5. Absentéisme associé à la fatigue (RH)

3.3 Modalités de gestion de la fatigue exprimées

Le tableau suivant présente les modalités de gestion de la fatigue recueillies lors des entretiens avec les PNT et les PNC.

Personnel navigant technique	Personnel navigant commercial
- Gestion des éléments extraprofessionnels.	- Gestion des éléments extraprofessionnels, - Prise en compte des desideratas dans les plannings.
- Gestion de la dette de sommeil : chambre d'hôtel sur base.	- Gestion de la dette de sommeil : chambre d'hôtel sur base, - Sieste en retour de rotation – difficulté de garder un rythme naturel,
<ul style="list-style-type: none"> - Napping en vol. - S'occuper, - Augmenter les cross-checks, - Augmenter le volume de la radio, - Importance du PNC pour stimuler, - Revenir aux basiques, - Annoncer son état de fatigue et cross-check. 	- Autocontrôles en plus (désarmement des toboggans).
- Pas de café après 16h00 (pour s'endormir en nuit courte).	

Tableau 6. Modalités de gestion de la fatigue exprimées

3.4 Entretien avec les médecins du travail

Au sein des centres de médecine du travail, il n'existe pas de base de données sur l'épidémiologie des pathologies et accidents du travail des PNT et PNC. Les médecins du travail ne consultent pas les personnels des compagnies. Les arrêts maladie sont délivrés par les médecins traitants des personnels. Les médecins du travail ne voient les personnels navigants que lors des visites systématiques de médecine du travail ou lors des reprises de travail après arrêt prolongé.

Les entretiens avec les médecins du travail font ressortir que des états de fatigue important sont rapportés par les populations navigantes techniques et commerciales lors des visites systématiques de médecine du travail. La population commerciale l'exprime plus que la population technique.

La principale cause avancée par les médecins du travail de la fatigue des personnels commerciaux est la gestion en parallèle par les personnels féminins des rythmes de travail liés à la vie professionnelle avec les obligations de la vie familiale. A travers ces états de fatigue, des plaintes sur les nuits courtes sont rapportées. La motivation des PNC décroît avec le temps. Les médecins rapportent que les principaux accidents du travail des PNC sont des barotraumatismes.

Lors des visites systématiques, il n'existe pas de plainte particulière sur des troubles du sommeil.

Pour les médecins du travail, les PNT sont dans l'ensemble satisfaits de leur sort et la passion du métier leur fait accepter les contraintes. Sur le plan des accidents du travail, il n'y a pas de tendance particulière au regard d'une pathologie.

4 - OBSERVATOIRE SYSTEMATIQUE -

L'observatoire systématique constitue la phase initiale du programme de mise en œuvre d'un observatoire sur la sécurité vis-à-vis du risque fatigue et du développement d'une méthodologie pour un SGS-RF. Cet observatoire a pour objectif de mettre en relation des données relatives aux horaires de travail avec des données de santé et de sécurité des vols qui sont couramment recueillies par les compagnies aériennes. Dans le contexte de ce projet, les analyses des plannings des équipages ont été mises en relation avec les Air Safety Reports (ASR) et les événements issus des Analyses Systématiques de Vols (ASV), l'objectif étant de déterminer si ces paramètres pourraient constituer des indicateurs potentiels du risque fatigue, dans la perspective d'un SGS-RF.

4.1 - Analyse des plannings –

L'analyse chronobiologique des horaires de travail cherche à identifier :

- les éléments participant à la réduction de la fatigue et à la préservation du sommeil et des rythmes biologiques des personnels navigants,
- les aspects critiques en termes de pénibilité, les services les plus critiques seront retenus pour les phases d'observation et de recueil en cockpit,
- les contraintes apportées par les horaires de service sur le plan de la vie familiale et sociale.

Cette analyse s'est déroulée en 2 grandes phases:

- une étude rétrospective destinée à mettre en place la méthodologie d'analyse des horaires de service des personnels navigants,
- une étude prospective reposant sur la méthode initiée et destinée à mettre en relation les résultats de l'analyse chronobiologique des plannings avec les retours d'expériences et les paramètres de vol.

4.1.1 Analyse de la conception et de la gestion des plannings

En premier lieu, des entretiens avec les responsables des plannings des trois compagnies ont été réalisés. Outre la présentation du projet aux services de planification des compagnies, ces entretiens ont permis d'étudier les aspects suivants :

- comprendre le cycle de vie d'un planning (de sa conception à sa réalisation),
- présenter les outils de planification,
- spécifier les besoins en termes de données.

La conception des rotations et la planification des équipages représentent un enjeu essentiel pour une compagnie aérienne à la fois en termes économique et social. D'un point de vue économique, le coût du PN représente entre un peu moins de 10% et près de 20% du budget de la compagnie, soit la deuxième source de dépense après le carburant. Les compagnies cherchent donc à réaliser les plannings les plus « efficaces » possibles puisqu'une baisse de quelques pourcents représente des économies annuelles pouvant aller jusqu'à plusieurs millions de dollars dans les grandes compagnies (Draghici, 2005). D'un point de vue social, la question du temps et des horaires de travail constitue un sujet fondamental de discussion, voire de revendication à propos des conditions de travail. Les nombreuses contraintes auxquelles doivent répondre la planification du personnel ont été résumées par Chan (2002) par les critères suivants résumés sous l'acronyme JuSTE :

- **Juridique** : la réglementation française (durées de travail et de repos) sur différents horizons de temps (journalier, hebdomadaire, mensuel et annuel),
- **Social** : répartition équitable des tâches entre salariés, entre hommes et femmes, avec respect des indisponibilités, préférences individuelles et autres souhaits des salariés. Répartition équitable du temps de travail et du repos,
- **Technique** : les règlements des différents métiers de l'entreprise (prise en compte des compétences et des niveaux requis),
- **Economique** : Respect des besoins de l'entreprise à chaque moment de l'horizon de planification. Cela se présente comme la meilleure adaptation de l'énergie disponible aux charges à chaque moment.

Il est intéressant de noter que cette liste de critères ne comporte pas explicitement la notion de fatigue. Cette absence est tout aussi remarquable dans les travaux de mathématiques appliquées qui se développent depuis peu sur la modélisation de la planification. Ce domaine a fait l'objet de plusieurs thèses,

dont au moins une sur la planification des équipages dans les compagnies aériennes (Draghici, 2005), thèse ayant servi de base à la conception d'un logiciel commercial. Or, les contraintes entrées comme paramètres du logiciel n'intègrent que partiellement les notions associées à la fatigue des équipages. De ce point de vue, un SGS-RF s'appuyant sur des modèles prédictifs de la fatigue constituerait donc une réelle avancée. Avant d'envisager l'utilisation de ces modèles, il est important de comprendre le processus de création d'un planning, de la conception de la rotation à l'affectation des équipages à un planning. La description de ce processus résulte des entretiens que nous avons réalisés avec les responsables et agents de plannings des 3 compagnies partenaires

Schématiquement, ce processus se déroule en trois étapes (figure n°3) :

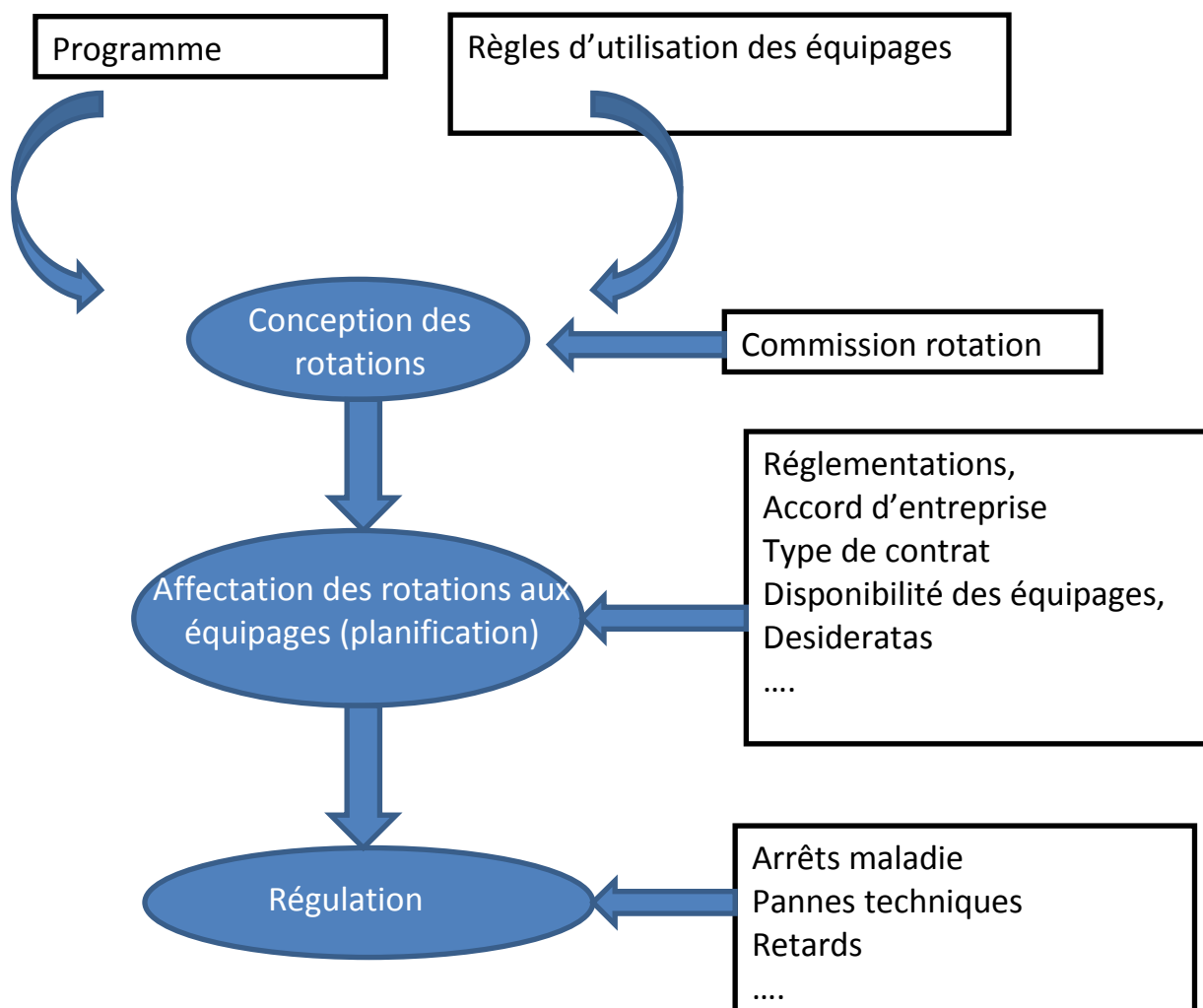


Figure n°3 . Processus de planification des équipages dans les compagnies aériennes.

La première étape correspond à la création des rotations (crew pairing). Le terme rotation désigne un enchaînement de vols débutant et se terminant à la base de rattachement de l'équipage. Ces vols élémentaires sont déterminés par le service commercial de la compagnie et sont contraints par le nombre et la disponibilité des appareils. Selon les cas, cette rotation peut comprendre une escale comportant une ou plusieurs nuits de repos hors domicile. Parmi les vols d'une rotation il faut distinguer les vols en fonction et les vols de mise en place, c'est-à-dire des vols effectués par l'équipage en tant que passager entre deux aéroports pour qu'ils puissent continuer leur rotation ou qui les ramènent à leur base en fin de rotation. Chaque rotation comporte une ou plusieurs périodes de service, comportant le vol proprement dit et une période de préparation du vol et de débriefing après la fin du vol. De l'avis des agents de plannings, les marges de manœuvre et notamment les possibilités d'intégrer des critères liés à la fatigue des équipages autres que ceux contenus dans la réglementation restent assez limitées à ce niveau, les rotations étant imposées par les besoins commerciaux et la disponibilité des appareils.

Dans toutes les compagnies que nous avons été amenés à rencontrer, ces rotations sont validées par une commission « rotation » qui se réunit au moins deux fois par an pour couvrir les programmes été et hiver. Cette commission « rotation » est composée de la Direction et de représentants du personnel. La question de la fatigue est alors souvent évoquée pour accepter ou rejeter telle ou telle rotation ou exprimer une demande de modification ou de compensation. D'autres aspects sont abordés par cette commission, tels que les hôtels ou les repas et collations disponibles au cours de la rotation.

La deuxième étape concerne l'affectation des équipages à ces rotations (crew rostering) et la création des plannings. Selon les compagnies, cette affectation est réalisée soit à partir de la création de plannings anonymes affectés aux navigants par ordre de priorité et de préférence (modèle des compagnies nord américaines) soit à partir de plannings personnalisés pour chaque navigant (modèle des compagnies européennes). Dans ce cas, le navigant exprime ses préférences avant la création du programme (desiderata sur des journées de service et/ou de repos). Le planning est ensuite publié auprès des navigants avec un horizon allant généralement de 2 à 3 semaines. C'est à ce stade de la création des plannings que vont intervenir de très nombreuses contraintes techniques (qualification particulière de l'équipage,...) réglementaires (limitation des temps de service, calcul des repos, accords d'entreprise particuliers...) ou liées à la disponibilité des équipages (congé, formation, arrêts maladie,...). Malgré ces contraintes, les

marges de manœuvre et les possibilités d'intégrer des critères de fatigue paraissent plus élevées à ce niveau.

La troisième étape concerne la régulation en temps réel du planning qui prend en considération des événements imprévus (arrêts maladies, pannes techniques, retards,...). En cas d'absence d'un membre d'équipage, cette régulation fait appel à des personnels de réserve ou à des personnels volontaires qui sont contactés directement par téléphone. Compte tenu du coût que représente le personnel de réserve, ce dispositif est généralement mis en place par les grosses compagnies. Certaines de celles ayant participé à l'étude y ont également recours. Les compagnies qui ne disposent pas de cette réserve font donc appel aux équipages réputés les plus disponibles. Au cours des entretiens, il nous a été reporté que les cas d'annulation de vols pour absence d'un membre d'équipage restent rares, ce qui traduit une disponibilité assez forte du personnel navigant.

Une contrainte supplémentaire, qui a été par ailleurs identifiée dans de nombreuses compagnies long-courriers (FAA, 2008) est la proportion assez élevée de « faux-basés ». Ces personnels ont un domicile très éloigné de leur base d'affectation (parfois à l'étranger dans les compagnies long-courriers) et ont de ce fait des durées de trajets domicile-travail très élevées, parfois plusieurs heures. Ce phénomène qui s'est installé progressivement dans les compagnies tient essentiellement aux conditions avantageuses de transports et à un temps libre plus élevé que dans la population générale (limite mensuelle d'environ 90 heures). Ce phénomène pourrait a priori constituer une source non négligeable de fatigue compte tenu des temps de transport. Les possibilités de voyager à un prix très réduit étant conditionnées par la disponibilité des places dans un vol, les équipages sont parfois obligés d'anticiper considérablement leur déplacement en partant très tôt de leur domicile au détriment de leur sommeil. Cette pratique s'est installée progressivement jusqu'à devenir un fait social. Elle pourrait avoir un impact assez direct sur l'acceptation par les équipages des repos réduits qui permettent de cumuler des temps de service et dégager plus de temps libre.

Un autre fait marquant dans les entretiens menés auprès des agents de planning concerne le réel besoin de produire des « plannings de qualité ». En effet, les agents sont conscients qu'ils n'ont que très peu de connaissances des principes de chronobiologie et des mécanismes associés à la fatigue. L'évaluation des plannings construits est réalisée par rapport à sa conformité aux réglementations et accords d'entreprise en vigueur. Les outils de prédiction de la fatigue que nous avons eu l'occasion de montrer aux agents de planning des compagnies ont suscité

un intérêt vis-à-vis d'une approche intégrant le « Facteur Humain » et la gestion des risques. Une véritable évaluation des outils de prédiction par ces agents, hors cadre de l'étude, n'a pu être conduite toutefois.

4.1.2 - Recueil des données -

La récupération des données de plannings a posé quelques difficultés car la plupart des logiciels utilisés ne permettaient pas de faire une exportation de données en format électronique directement utilisable par le LAA. Un travail important de mise en forme et de standardisation des formats a été effectué.

Les données recueillies concernent le planning des Personnels Navigants (PN) des 3 compagnies sélectionnées et portent sur une année de planification des horaires de travail des Personnels Navigants Techniques (PNT) et Personnels Navigants Commerciaux (PNC).

Pour les PNT, le traitement des données a été réalisé en distinguant les commandants de bord (CDB) des copilotes (OPL). Le traitement des PNC a été réalisé en globalité (hôtesses, stewards et chefs de cabine).

4.1.2.1 - Analyse rétrospective -

Concernant **l'analyse rétrospective**, les périodes d'analyse correspondent à :

Compagnie X : 01/11/2006 – 31/10/2007 (heures en GMT)

Compagnie Y : 01/10/2006 – 30/09/2007 (heures en local)

Compagnie Z : 01/09/2006 – 31/08/2007 (heures en GMT)

Le tableau 7 répertorie le format des données et le nombre de lignes de données des fichiers envoyés par les trois compagnies. Il convient de noter que pour cette phase, l'analyse a porté sur plus de 955000 lignes de données.

Pour les compagnies Britair et Régional, les données concernent seulement les PNT qualifiés sur CRJ et Embraer.

	Compagnie X	Compagnie Y	Compagnie Z
Type de fichier	Fichiers Excel	Fichiers Excel	Fichiers Excel
Format dans le fichier	1 ligne = 1 journée	1 ligne = 1 journée	1 ligne = 1 étape
CDB (nombre de lignes)	78160	47402	229900
OPL (nombre de lignes)	79751	41525	
PNC et CDC (nombre de lignes)	157911	66081	254649
Nombre total de lignes	315822	155008	484549

Tableau 7 - Synthèse sur les formats des fichiers reçus et sur le nombre de lignes de données - Analyse rétrospective.

4.1.2.2 - Analyse prospective -

L'analyse prospective des données de plannings a porté sur la période du 01/12/2007 au 30/11/2008.

La réception des données visant à appliquer la méthode mise en place au cours de l'analyse rétrospective, s'est étalée dans le temps. De ce fait, l'analyse des données a été réalisée au fur et à mesure, dès l'obtention des fichiers de données.

Le second tableau présenté en annexe 0 synthétise la grande diversité des formats de fichiers de données et montre que cette phase d'analyse a porté sur près de 978000 lignes de données.

4.1.3 - Méthode d'analyse de données –

Comme déjà citée précédemment, l'analyse rétrospective est une analyse chronobiologique des plannings, réalisée sur les 12 derniers mois afin de permettre l'identification de séquences dites « critiques » et la recherche de corrélations avec les données de sécurité des vols (ASR et ASV).

Initialement, il avait été prévu la méthode d'analyse suivante :

- l'identification des plannings « critiques » et « non critiques » sur 12 mois (dans chaque compagnie) à partir de critères de sélection tels que le temps de service, le nombre de repos réduits, les « coucher tard - lever tôt », le nombre de rotations 5/3, le nombre de rotations 3/3, plus de 5 rotations consécutives sans repos... etc,
- au sein de ces plannings, sélectionner un échantillon de personnels navigants comprenant 8 commandants de bord, 8 copilotes, 8 chefs de cabine et 8 hôtesse/stewards,
- une période de 12 mois afin de lisser l'effet saisonnier de la fatigue.

Après une première analyse, il est apparu qu'afin de mieux appréhender la multiplicité des critères, il était nécessaire :

- d'appliquer une analyse d'indicateurs sociaux et chronobiologiques à l'ensemble des plannings équipage,
- puis de sélectionner des plannings « critiques » et « favorables »
- et enfin d'identifier des séquences dites « Fatigue plus » et « Fatigue moins » à partir de l'utilisation de modèles chronobiologiques d'estimation de la fatigue.

4.1.3.1 - Analyse rétrospective -

4.1.3.1.1 – Tri et mise en forme des données -

Une fois les données recueillies, il était nécessaire de réaliser un premier tri afin d'exclure de l'analyse des plannings non représentatifs (arrêts maladie longue durée, représentants syndicaux, cadres,...).

Par ailleurs, la provenance variée des fichiers de données, issus des trois compagnies avec des systèmes de conception des plannings très différents, a incité à une standardisation des formats afin de mieux traiter l'information. Une partie des fichiers reçus comprenaient une étape (ou un jour de repos) par ligne. Les heures étaient soit transcrites en heure de Paris ou soit en GMT (Greenwich Mean Time). Le tri des données et la standardisation des formats se sont donc déroulés selon les étapes suivantes :

- 1 • Codification des activités en catégories utiles à l'analyse.
 - VOL pour les vols,
 - MAV pour les mises en place en avion,
 - MTE pour les mises en place terrestres (voiture, taxi...),
 - MTR pour les mise en place en train,
 - AUTRE pour les sessions de formation ou de simulateur.

Cette codification a été plus ou moins détaillée en fonction des données envoyées par les compagnies.

- 2 • Compte tenu de l'analyse à effectuer sur les services, réalisation d'un changement de formalisme en passant à un service par ligne.

- 3 • Sélection des plannings avec :
 - Au moins 60 jours de service sur la période d'étude,
 - Au moins 70% des services avec des vols.

- 4 • Codification des jours, comme suit :
 - service : jours avec vol, mise en place, formation, simulateur, qualification... etc,
 - SBY : « stand by » ailleurs que sur la base (entre 2 services),
 - Autres : jours de repos, congés, maladie... etc.

5 • Caractérisation des services :

- i- Calcul de l'heure de début de service (comme spécifié par chaque compagnie),
- ii- Calcul de l'heure de fin de service (comme spécifié par chaque compagnie),
- iii- Classification des services en fonction de l'heure de début de service (tableau 8):

Nature du service	Horaires de prise de service
Service du matin (Matins)	Entre 03h00 et 07h59
Service de journée (J)	Entre 08h00 et 10h59
Service d'après-midi (AM)	Entre 11h00 et 14h59
Service de soirée (S)	Entre 15h00 et 18h59
Service de nuit (N)	Entre 19h00 et 22h59
Service de nuit tardive (NT)	Entre 23h00 et 02h59

Tableau 8 - Classification des services.

- iv- Calcul du nombre d'étapes,
- v- Identification d'un repos réduit avant le service du Matin,
- vi- Identification d'un service long avec une amplitude de plus de 10 heures,
- vii- Identification d'un service fractionné avec au moins 4 heures de pause entre 2 blocs.

Le tableau 9 synthétise le nombre de personnels retenus après sélection.

Avant/après sélection	Compagnie X		Compagnie Y		Compagnie Z	
	Avant sélection	Après sélection	Avant sélection	Après sélection	Avant sélection	Après sélection
CDB	94	72	130	98	193	130
OPL	114	88	131	97	187	135
PNT	227	177	267	199	392	277
PNC et CDC	179	121	201	180	425	315

Tableau 9 - Synthèse du nombre de PN concernés par les données planning.

4.1.3.1.2 - Utilisation de critères de pénibilité et sélection de profils « critiques » et « favorables »-

La grande quantité de plannings à traiter a orienté l'analyse vers une sélection de plannings selon des critères bien définis. Deux groupes de plannings ont été sélectionnés, ceux étant « Critiques » versus des plannings dits « Favorables ». Cette analyse a été réalisée sur la base des résultats de plusieurs indicateurs de pénibilité qui sont de deux ordres :

- les indicateurs qui reflètent l'impact sur l'horloge biologique et en particulier le rythme veille-sommeil et constituent donc des facteurs ayant une influence directe sur la fatigue,
- les indicateurs « sociaux ». Cette dimension influence le vécu et la représentation que les équipages ont de leurs horaires de travail et peut donc générer un effet indirect sur leur fatigue.

Pour chacun des PN ont donc été calculés des indices chronologiques (tableau 10) et sociaux (tableau 11) à partir du planning portant sur 12 mois. Ces indices sont :

Indices	Descriptions
% de nuits < 8h45	nombre de nuits < 8h45/ nombre de nuits entre 2 services (temps bloc),
% de nuits < 11h00	nombre de nuits < 11h00/ nombre de nuits entre 2 services (temps bloc),
% de services fractionnés	Nombre de services fractionnés / Nombre de services avec vols,
% de services débutant plus tôt que le service précédent	Nombre de services débutant plus tôt / nombre de services suivant un autre service
% de services débutant avant 6h00	Nombre de services débutant avant 6h00 / nombre de services
% de périodes de plus de 5 jours consécutifs	Nombre de périodes de plus de 5 jours consécutifs / nombre de périodes (service et stand-by)
Nombre moyen de vols par service calculé sur l'année étudiée	-

Tableau 10 – Indices chronobiologiques.

Indices	Descriptions
% de soirées libres	nombre de soirées libres à la base / nombre de services
% de samedis libres	Nombre de samedis libres / nombre de samedis
% de dimanches et jours fériés libres	Nombre de dimanches et jours fériés libres / nombre de dimanches et jours fériés
% de week-ends libres	Nombre de week-ends libres / nombre de week-ends
% de découchers	nombre de découchers / (nombre de services + nombre de jours en «stand by»)

Tableau 11 – Indices sociaux.

Ces indices ont permis une première description macroscopique au niveau des plannings ainsi qu'une sélection des profils dits « Critiques » ou « Favorables ». La détermination de ces profils extrêmes a été faite avec une Analyse en Composante Principale (ACP). Un exemple de résultats est présenté en annexe 1. Un planning critique se caractérise par des niveaux élevés des indices chronobiologiques et sociaux. L'analyse géométrique multifactorielle a donc abouti à la sélection de 8 ou 9 profils « critiques » et de 8 ou 9 profils « favorables » pour chaque catégorie de PNT (tableau 12).

	COMPAGNIE X		COMPAGNIE Y		COMPAGNIE Z	
	Planning favorable	Planning critique	Planning favorable	Planning critique	Planning favorable	Planning critique
CDB	9	9	9	8	9	8
OPL	8	8	8	8	8	8
PNC et CDC	16	16	16	16	16	16

Tableau 12 - Synthèse concernant le nombre de PN ayant un planning « favorable » ou « critique » en termes de chronobiologie et de sociologie.

4.1.3.1.3 - Choix des modèles prédictifs de la fatigue -

Deux modèles ont été choisis afin de déterminer le « risque fatigue » :

- FRI (Fatigue Risk Index)

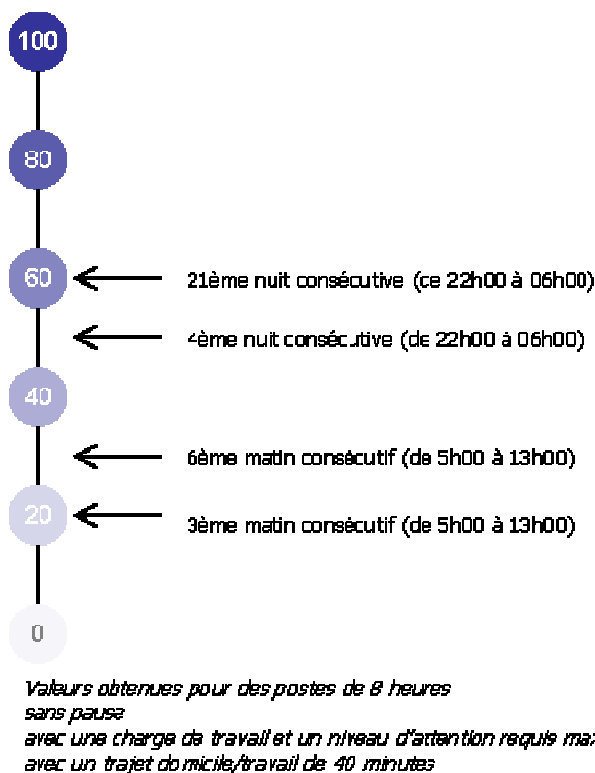
Cet outil récent résulte de l'association et de la réactualisation de deux échelles antérieures. Il a été développé pour d'autres secteurs que le secteur aérien. L'objectif de ses concepteurs est de proposer un outil simple pour l'évaluation et la comparaison d'horaires de travail (Spencer et al., 2006 ; Folkard et al., 2007).

L'indice de fatigue obtenu correspond à la probabilité, exprimée en pourcentage, d'obtenir un score élevé (c'est-à-dire supérieur ou égal à 7) à l'échelle de somnolence KSS (Karolinska Sleepiness Scale) au cours d'un service. Cette échelle se compose de 9 points entre « extrêmement éveillé » correspondant à un score de 1 et « extrêmement somnolent » correspondant à un score de 9 (figure n°4). A partir d'un score de 7, les signes objectifs de la somnolence commencent à apparaître c'est pourquoi cette valeur de 7 est classiquement retenue (Akerstedt & Gillberg, 1990). Afin de donner un ordre de grandeur, la figure n°5 présente les successions de services qui seraient nécessaires pour atteindre une probabilité de 20%, 30%, 50% et 60% d'atteindre un niveau de fatigue supérieur à 7.

- **Karolinska Sleepiness Scale (KSS)**

- | | |
|---|--|
| 1 | extremely alert |
| 2 | |
| 3 | alert |
| 4 | |
| 5 | neither sleepy nor alert |
| 6 | |
| 7 | sleepy - but no difficulty remaining awake |
| 8 | |
| 9 | extremely sleepy - fighting sleep |

**Figure n°4 - La Karolinska Sleepiness Scale
(Akerstedt & Gillberg, 1990).**



**Figure n°5. Echelle des scores de fatigue (FRI) –
probabilité d’atteindre un score KSS ≥ 7**

Le calcul de cet indice repose sur 3 composantes :

- une composante cumulative qui s’intéresse plus particulièrement à l’enchaînement des services,
- une composante temporelle qui intègre des effets de l’heure de début et de fin de service, de la durée du service et de la dimension circadienne,
- une composante « activité » qui prend en compte certaines caractéristiques de la tâche telles que la charge de travail, le niveau d’attention requis pour accomplir cette tâche et la possibilité de faire des pauses (répartition et durée des pauses).

La validation de ce modèle s’appuie sur de nombreuses études de laboratoire et de terrain (Folkard, 2004, 2006).

Outre la prédiction de la fatigue pour chaque service et pour l’ensemble des services, le FRI peut fournir une représentation graphique des horaires de travail. Le logiciel FRI se présente sous la forme d’un tableur de type Excel. Afin de

calculer cet indice, il est nécessaire d'entrer dans le logiciel les horaires de début et de fin de service ainsi que la date des services. Un certain nombre d'autres paramètres tels que le temps de trajet, la charge de travail, le niveau d'attention et les pauses sont ajustables. Le logiciel propose des valeurs par défaut qu'il est possible de modifier pour l'ensemble des services et pour un service particulier.

Cet outil a été retenu dans le cadre de cette analyse parce qu'il s'avérait le plus adapté pour rendre compte de l'accumulation de la fatigue sur des plannings. Par ailleurs, il offre la possibilité de l'utiliser avec des horaires irréguliers et il s'agit de l'un des rares outils d'évaluation de grilles de services qui essaie de prendre en compte des caractéristiques du travail par sa composante activité. Cet outil est utilisé par plusieurs entreprises ferroviaires en Grande Bretagne.

Les horaires de début et de fin de service ont été utilisés en entrée du logiciel. Les paramètres liés à l'activité et au temps de trajet ont été ajustés avec les paramètres suivants :

- Temps de trajet entre le domicile et le lieu de travail : 40 minutes,
- Charge de travail : sollicitation modérée ; peu de marges de manœuvre,
- Attention demandée : Tout le temps ou presque,
- Durée des pauses : 0 minute,
- Fréquence des pauses : 9 heures.

• SWP (Sleep Wake Predictor)

Le Sleep Wake Predictor rend compte des variations de la vigilance et de la somnolence au cours du temps. Les prédictions de cet outil s'appuient sur le modèle TPMA (Three Process Model of Alertness) développé par Simon Folkard à la fin des années 80 et en intègre les 3 composantes : un processus C qui représente l'influence circadienne, un processus S qui représente la pression homéostatique du sommeil pendant l'éveil, et un processus W qui correspond à l'inertie du sommeil.

Le logiciel exprime le niveau de somnolence du sujet à l'aide de l'échelle KSS (Karolinska Sleepiness Scale). Ce logiciel est utilisé par certaines compagnies aériennes, telle Air New Zealand, pour l'évaluation de leurs rotations à l'occasion d'ouvertures de lignes.

Les paramètres nécessaires en entrée du logiciel SWP pour tracer les courbes de somnolence correspondent aux horaires de travail et aux horaires de sommeil. Etant donné que nous ne disposons pas des données relatives au sommeil, nous avons utilisé une fonction du logiciel qui permet de générer, automatiquement et de façon optimale, les périodes de sommeil. Le sommeil simulé prend également en compte certaines des caractéristiques individuelles du dormeur (besoin du sommeil et typologie circadienne). Il a été retenu comme **profil de simulation, un individu ayant un besoin de sommeil de 9 heures et de typologie « modérément du soir »**. **Ce profil choisi est volontairement un profil défavorable au repos réduit.** En effet, dans la perspective de l'utilisation des modèles prédictifs dans les SGS-RF, il est plus pertinent de réaliser les prédictions avec les profils les plus défavorables : si des prédictions sont acceptables pour ces profils, elles le seront logiquement pour la majorité de la population. .

La figure n°6 présente des niveaux de somnolence prédits par SWP pour différentes durées de veille continue. On constate que le niveau 7 est atteint au bout de 21 heures de veille continue.

Le tableau 13 résume les caractéristiques des deux modèles retenus notamment en termes de paramètres d'entrée.

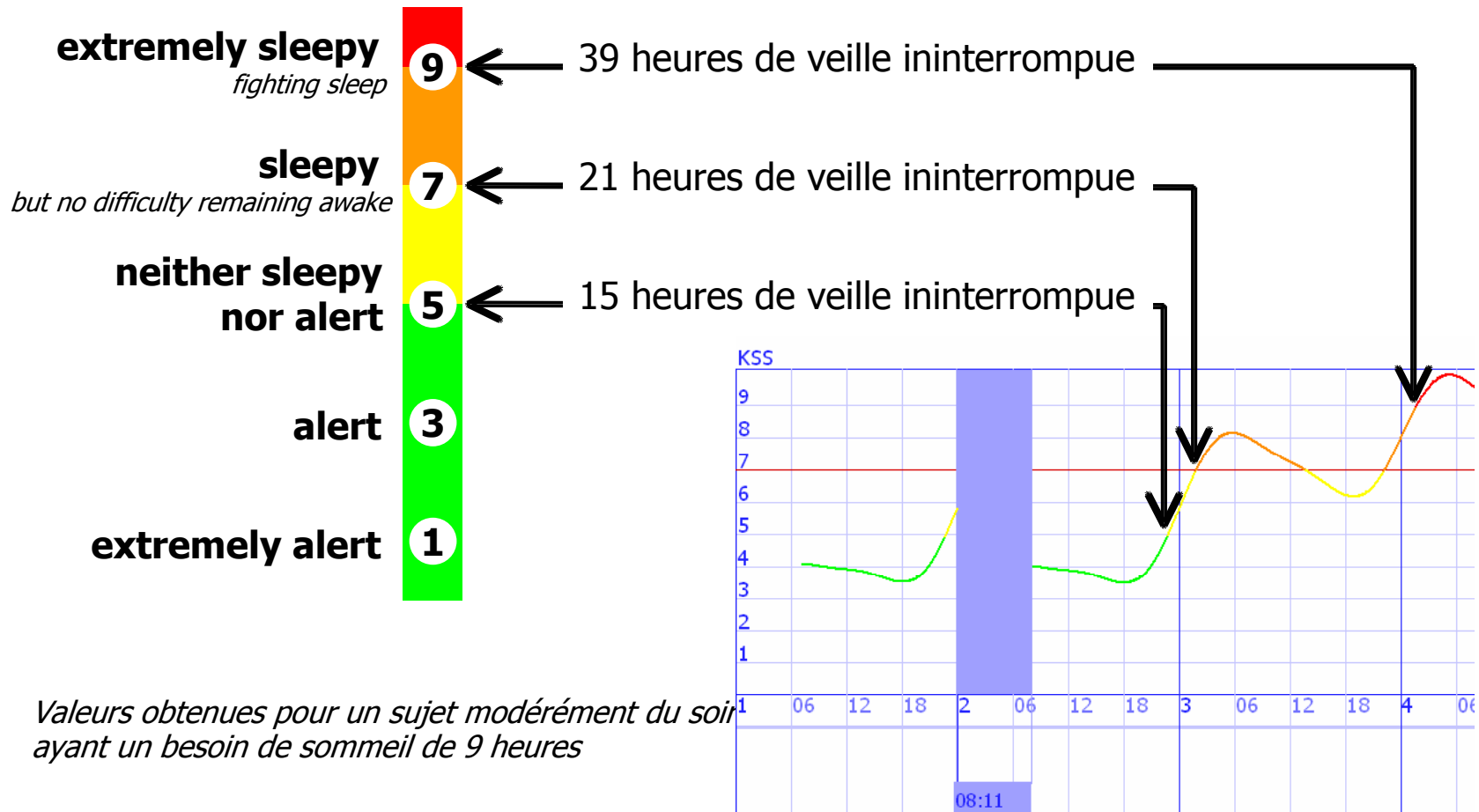


Figure n°6.
Prédictions du modèle SWP pour différentes durées de veille continue

		Fatigue Risk Index (FRI)	Sleep Wake Predictor (SWP)
Paramètres de travail	Requis	Horaires de travail	Horaires de travail Fuseaux horaires
	Ajustables	Caractéristiques de l'activité (charge de travail, niveau d'attention requis, pauses) Temps de trajet domicile/travail	Caractéristiques individuelles (besoin de sommeil, caractère matinal ou vespéral) Caractéristiques sur le déclenchement du sommeil (durée minimale entre zone de travail et zone de sommeil)
	Complémentaires		Horaires réels de sommeil
Principaux paramètres en sortie		Fatigue Risk Index : probabilité (en %) d'atteindre un niveau de somnolence critique (KSS \geq 7)	Variations de la somnolence (échelle KSS) Sommeil (durée et plages horaires) si indisponible comme paramètre d'entrée Indice de risque (% de temps de service où KSS $>$ seuil)

Tableau 13 – Caractéristiques des deux modèles retenus.

4.1.3.1.4 - Utilisation des modèles prédictifs de la fatigue -

Pour chaque planning des PN dits « Favorables » ou « Critiques », un score de fatigue a été calculé à l'aide du logiciel FRI pour chaque journée de service. Les représentations graphiques montrent des fluctuations annuelles du score FRI avec des « creux » et des « pics » correspondant respectivement à des séquences « fatigue moins » et « fatigue plus ». Afin de retenir les niveaux les plus extrêmes, les 2% de journées de travail pour lesquelles les scores de fatigue sont les plus élevés et les 2% de journées de travail avec les scores de fatigue les plus faibles ont été sélectionnées.

Pour ces journées « pic » ou « creux » retenues, le type d'enchaînement de services sur les 5 jours les ayant précédé a été analysée. Les horaires de service de ces périodes ont ensuite été entrés dans le logiciel Sleep Wake Predictor (SWP) afin de simuler les fluctuations de la somnolence au cours de la journée et d'établir l'impact sur la durée du sommeil.

L'application des 2 modèles FRI et SWP sur des données de planning ainsi sélectionnées, de profils chronobiologiques critiques ou favorables, a permis d'extraire des plages horaires critiques dans des configurations de services bien définies. A partir de ces constats, il a été ensuite possible de spécifier les vols susceptibles d'être pénalisants en termes de fatigue ou à l'inverse très peu pénalisants, ceci en fonction des successions de service, du type des services, des successions de vols et des plages horaires.

La figure n°7 synthétise le mode opératoire ayant permis de déterminer des vols « Fatigue moins » et des vols « Fatigue plus ». Les tableaux 14.1, 14.2 et 15 résument les spécifications pour l'identification des vols « Fatigue plus » et des vols « Fatigue moins ».

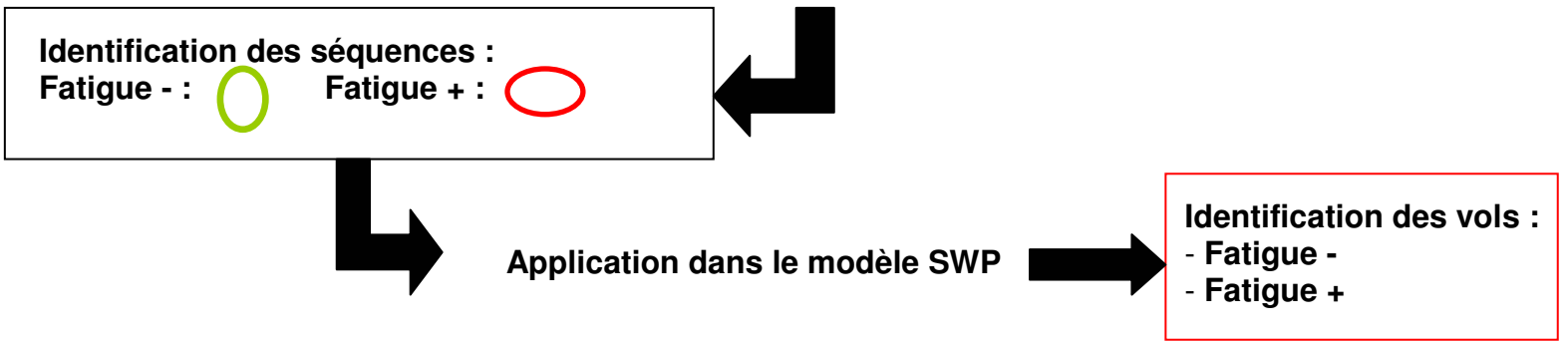
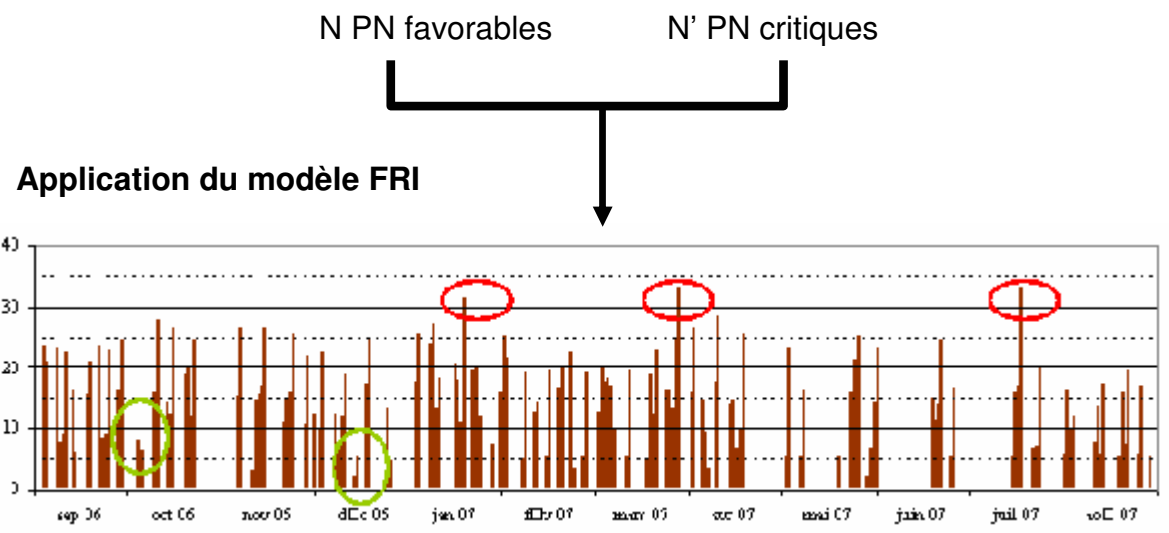


Figure n°7.
Recherche des séquences d'horaires et des vols « Fatigue moins » et « Fatigue plus »

Nuit courte (J-1 NC J)

début service J - fin service J-1 à 08h45

Condition 1	Condition 2		Vols à retenir
2ème Nuit Courte ou Nuit Courte après 2 services	Fin service J-1	avant 22h30	Retenir les vols sur J débutant entre 05h00 et 15h00
	Début service J	entre 05h00 et 06h00 (inclus)	
2ème Nuit Courte ou Nuit Courte après 2 services	Fin service J-1	avant 22h30	Retenir les vols sur J débutant entre 06h00 et 09h30
	Début service J	entre 06h01 et 07h00 (inclus)	
2ème Nuit Courte ou Nuit Courte après 2 services	Fin service J-1	après 22h30	Retenir les vols sur J-1 débutant après 22h00 (inclus) et les vols sur J débutant entre 05h00 et 13h00
	Début service J	entre 05h00 et 08h00 (inclus)	
2ème Nuit Courte ou Nuit Courte après 2 services	Fin service J-1	après 22h30	Retenir les vols sur J-1 finissant après 22h30 et les vols sur J débutant avant 10h00
	Début service J	entre 08h01 et 09h00 (inclus)	
Tous les services	Début service J-1	avant 09h00	Retenir les vols sur J-1 finissant avant 09h00 et après 21h00 et tous les vols sur J
	Fin service J-1	après 21h00	
	Début service J	avant 06h30	

Tableau 14.1 - Définition des critères d'identification des vols pendant une séquence « Fatigue plus » - Critères concernant les services suivant un repos réduit.

Matins

début service J avant 8h00 sans NC précédente

Condition 1	Condition 2	Vols à retenir
3ème ou 4ème Matin successif	Début service J avant 07h00	Retenir tous les vols

Tardifs

fin service J après 22h30 sans NC suivante

Condition 1	Condition 2	Vols à retenir
Tous les services	Fin service J après 22h30	Retenir les vols finissant après 22h30

Vols de fin de service

Condition 1	Condition 2	Vols à retenir
fin dernier bloc J - début 1er bloc J > 10h00	3ème à Nème service	Retenir les vols en étape 4, 5 ou 6 finissant après 16h00

**Tableau 14.2 – Définition des critères d'identification des vols pendant une séquence « Fatigue plus » -
Critères concernant les services du matin, les services tardifs et les vols de fin de service.**

Condition 1	Condition 2	Vols à retenir
1er service et 2ème service autre qu'un service suivant une NC, autre qu'un service du matin ou service tardif.	service débutant avant 08h00	Retenir les vols en étape 1 débutant entre 09h00 et 20h00
1er service et 2ème service autre qu'un service suivant une NC, autre qu'un service du matin ou service tardif	service débutant avant 08h00	Retenir les vols en étape 2 débutant entre 09h00 et 18h00

Tableau 15 – Définition des critères d'identification des vols pendant une séquence « Fatigue moins » -

4.1.3.2 - Analyse prospective -

Le procédé de mise en forme des données et d'analyse des plannings a été le même que pour l'analyse rétrospective

A partir de cette étude menée en rétrospectif sur les données de plannings de l'année 2007, les critères en termes de succession de services et de plages horaires qui ont été définis comme étant « pénibles » ou « favorables » en termes de fatigue (cf tableau 14.1, 14.2 et 15), ont été repris afin de déterminer les vols « Fatigue plus » ou « Fatigue moins » sur les plannings de l'année 2008.

Plusieurs Macro Excel ont été élaborées afin d'extraire ces vols.

Ces vols ont ensuite été mis en relation avec :

- les ASR. Travail effectué en collaboration entre Air-France-Consulting et le LAA,
- les ASV (seulement pour les PNT de la compagnie Régional). Travail réalisé par l'ONERA,
- l'absentéisme (pour les PNT et les PNC des 3 compagnies). Travail effectué en étroite collaboration avec SynRjy.

4.1.3.3 - Synthèse de la démarche -

La démarche adoptée a permis de réaliser un « screening » important des données de façon à extraire les éléments significatifs nécessaires à la caractérisation de vols dits « Fatigue plus » et « Fatigue moins ».

Cette démarche, présentée dans la figure n° 8, peut constituer en partie, en ce qui concerne l'analyse prospective, un modèle de l'analyse des plannings dans le cadre d'un SGS-RF.

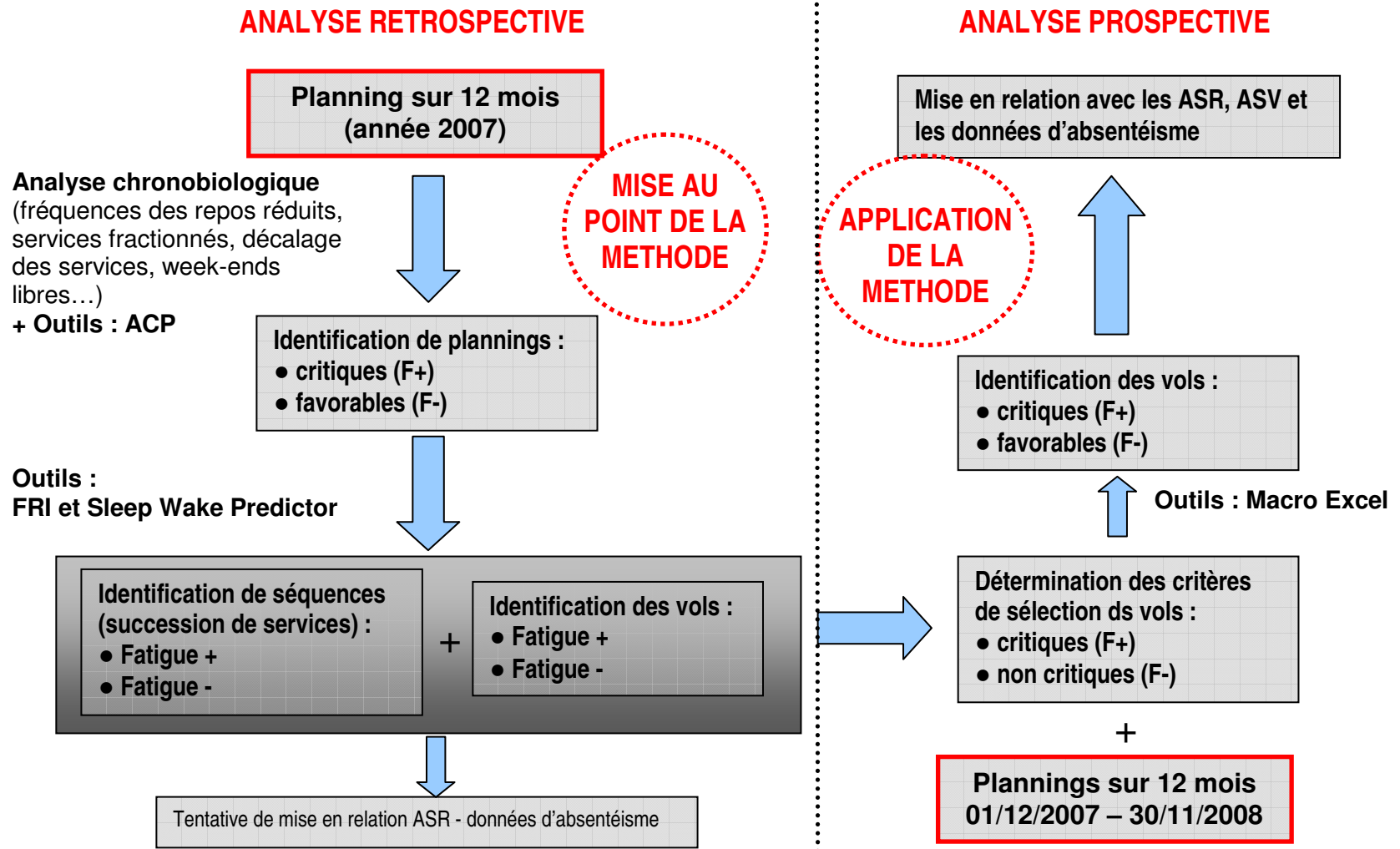


Figure n°8.
Démarche adoptée pour l'analyse des plannings

4.1.4 - Résultats -

Les résultats présentés ci-dessous constituent des outils de validation qui ont permis de faire évoluer les différentes étapes de la méthode d'analyse des plannings.

Les résultats portent sur les données de service des trois compagnies. 25,7% des services concernent la compagnie X, 32,8% la compagnie Y et 41,6% la compagnie Z.

4.1.4.1 - Diversité des horaires de travail -

Dans le domaine des transports, il est courant que les horaires de travail des personnels ne soient pas réguliers. L'analyse des horaires de travail des personnels navigants montre en effet une grande diversité qui se traduit aussi bien du point de vue des horaires de prises ou fins de services que de la durée de service. Cette irrégularité a un impact direct sur le rythme veille-sommeil et l'organisation de la vie familiale et sociale.

Face à la diversité des horaires de travail, il a été nécessaire de regrouper les services en six catégories en fonction de l'heure de prise de service (cf tableau 16).

Selon leur nature, les services n'apportent pas les mêmes inconvénients ou bénéfiques en ce qui concerne la fatigue, le sommeil, et les rythmes biologiques, ni les mêmes contraintes à la vie familiale et sociale. Classiquement, les services matinaux et nocturnes sont associés aux plus fortes privations de sommeil (Spencer et Roberston, 2002).

Les prises de services matinales qui représentent près de 39% des services pour les trois compagnies (tableau 16) nécessitent un lever précoce qui raccourcit la période consacrée au sommeil. Un coucher précoce en préalable est très rarement possible à cause :

- de la structure temporelle de la somnolence au cours de la journée qui limite la propension à l'endormissement en début de soirée (zone dite de sommeil interdit),

- de l'impossibilité pour les PN de se coucher tôt pour les rotations en repos réduit en raison de la fin tardive des services d'après-midi. Ces repos réduits concernent la moitié des services matinaux (19,2% de la totalité des services).

Les services tardifs (ici les services d'après-midi et de soirée) représentant plus de 39% de la totalité des services, conduisent à retarder les horaires de coucher et de lever contrairement aux services du matin.

Type de service	Compagnie X	Compagnie Y	Compagnie Z	Global
Après-midi	18,4%	33,3%	32,9%	29,3%
Journée	21,1%	18,1%	21,5%	20,3%
Matin	40,0%	39,4%	37,8%	38,9%
Nuit	3,2%	0,7%	0,7%	1,3%
Nuit tardive	0,2%	0,0%	0,0%	0,1%
Soirée	17,0%	8,5%	7,2%	10,1%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Matin avec repos réduit	20,7%	22,4%	15,8%	19,2%
-------------------------	-------	-------	-------	-------

**Tableau 16 - Répartition des types de service -
Période du 01/12/2007 au 30/11/2008 –
3 compagnies : Compagnie X, Compagnie Y et Compagnie Z.**

4.1.4.2 - Durée des services -

La durée de service est un autre paramètre susceptible d'augmenter la fatigue. Elle correspond au concept anglo-saxon de « time on task ». Cette durée de service peut donc accroître les effets néfastes d'un service pénible ou au contraire en limiter les effets si elle est courte.

Les durées de services sont assez fluctuantes d'une compagnie à l'autre. Un quart des services chez COMPAGNIE X présente des durées de 2 à 4 heures, probablement lié au nombre plus important de « retours secs » (vol avec une seule étape) après un repos réduit. La part plus élevée pour cette compagnie des services de plus de 12 heures s'explique par la forte amplitude des services du matin fractionnés avec une pause de l'ordre de 6 heures.

Globalement pour les trois compagnies, 55,2% des services ont une durée comprise entre 6 et 10 heures. Il convient de noter que pour la compagnie COMPAGNIE X, ces services ne représentent que 38,3% de la totalité des services.

Durée de service	COMPAGNIE X	COMPAGNIE Y	COMPAGNIE Z	GLOBAL
00h00-01h59	1,0%	1,6%	1,0%	1,2%
02h00-03h59	25,8%	5,5%	5,6%	10,7%
04h00-05h59	18,8%	9,2%	13,5%	13,5%
06h00-07h59	20,3%	30,1%	27,3%	26,4%
08h00-09h59	17,9%	33,4%	31,9%	28,8%
10h00-11h59	10,2%	16,8%	16,4%	14,9%
12h00 et plus	6,0%	3,4%	4,3%	4,4%
Global	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

**Tableau 17 - Répartition des durées de service -
Période du 01/12/2007 au 30/11/2008 -
3 compagnies : Compagnie X, Compagnie Y et Compagnie Z.**

4.1.4.3 - Enchaînement des services -

L'étude des enchaînements de services vise à ne plus considérer isolément un service mais à replacer celui-ci dans une succession de rotations. L'accumulation de la dette de sommeil entraînée par les services matinaux et notamment par ceux qui suivent un repos réduit a été approchée par l'utilisation des modèles prédictifs de la fatigue.

Les perturbations des rythmes biologiques ont été appréhendées par les enchaînements qui ont été repérés lors de l'analyse de graphes individuels des séquences dites « critiques » et « favorables » pour les plannings sélectionnés. Des exemples de graphes édités illustrant l'enchaînement des services pour des séquences « critiques » sont présentés en annexe 2.

Un point favorable à tous les plannings est la durée des repos entre les périodes de services. **La durée, le plus souvent de deux jours avec possibilité d'avoir deux (voire trois) nuits complètes, semble être suffisante pour dissiper la fatigue accumulée pendant la série de services précédents.**

Comme indiqués dans les tableaux 14.1, 14.2 et 15, les services matinaux successifs, les services matinaux après un repos réduit et les services tardifs présentent les scores FRI les plus élevés notamment lorsque les amplitudes de service sont importantes.

La notion de durée de service prend toute son importance car les fluctuations de la somnolence au cours du service vont avoir un impact non négligeable sur l'activité et la performance au travail. Les deux graphes présentés en annexe 3, montrent les variations importantes de la KSS estimée par le modèle SWP au sein même de services différents.

Pour illustrer la grande variabilité de la fatigue, la figure n°9 présente pour les plannings « critiques », la distribution des scores FRI obtenus pour tous les services matinaux après un repos réduit. Rappelons que les scores FRI correspondent à la probabilité, exprimée en pourcentage, d'obtenir un score élevé (c'est-à-dire supérieur ou égal à 7) à l'échelle de somnolence KSS (Karolinska Sleepiness Scale). Sur l'échantillon retenu, cette probabilité varie de 4,05% à 42,76%. L'amplitude importante entre les scores FRI faibles et élevés, traduit bien la grande diversité de configuration 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 des scores FRI 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 les 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 PN.

La figure n°10 présente un exemple de différence de profil en termes de scores de fatigue (FRI), calculés sur le planning annuel de deux commandants de

bord d'une même compagnie. On observe que la distribution des scores illustre bien la grande disparité dans la succession des services et appuie l'indispensable catégorisation des plannings en « plannings favorables » et en « plannings critiques », nécessaire pour la mise en relation et l'estimation de corrélations avec des indicateurs tels que les ASR, les ASV ou l'absentéisme.

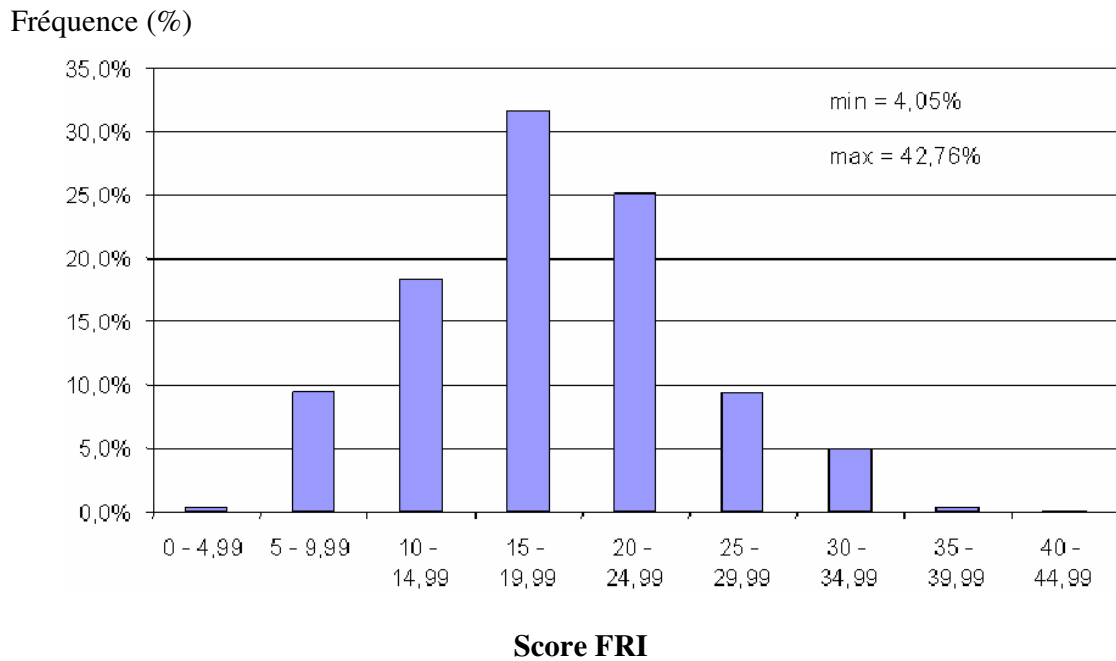


Figure n°9.
Distribution des scores FRI des services du matin suivant un repos réduit pour une compagnie – Ensemble des plannings dits « critiques ».

Pourcentages de services

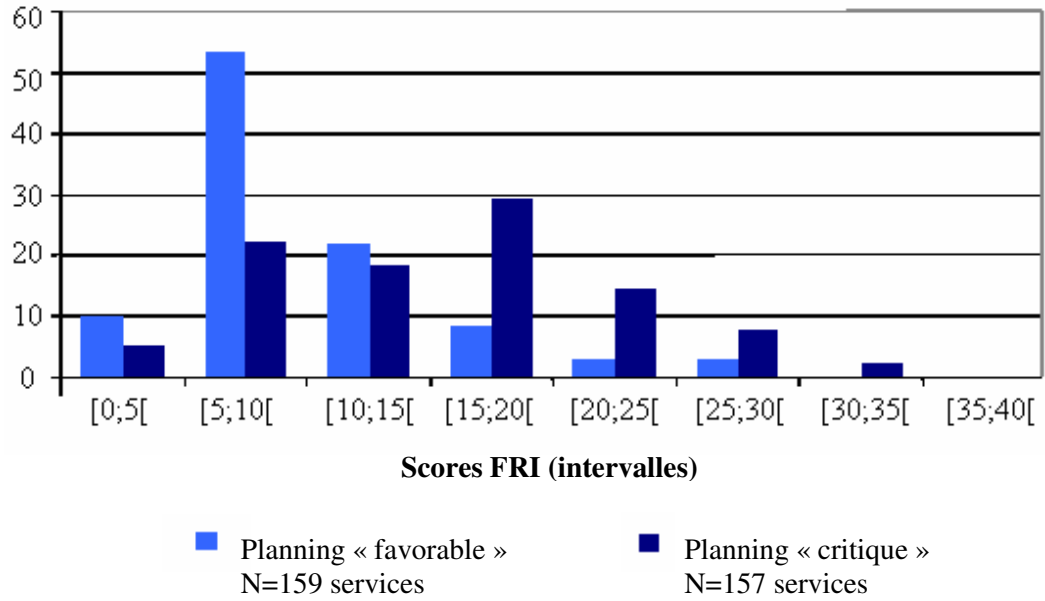


Figure n°10.
Distribution des scores FRI des plannings
de 2 CDB d'une même compagnie.

4.2 - Analyse des ASR -

Les ASR constituent l'un des indicateurs essentiels de la sécurité suivis par les compagnies aériennes. Ces ASRs 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 confusion de piste, le passage involontaire en dessous de l'altitude de sécurité, les défauts de communications. Certaines entreprises suivent tout particulièrement leurs ASRs dans leurs analyse sur la fatigue: EasyJet (Steward, 2007) par exemple ou encore Air New Zealand (Fallow, 2008). Leur objectif est d'identifier dans les ASRs les événements où l'équipage a dit que la fatigue a contribué à la dégradation de la performance ou la sécurité du vol.

Dans le cadre de l'observatoire systématique, Air France Consulting a géré la collecte et réalise la structuration et l'analyse descriptive des ASRs pour les trois compagnies aériennes partenaires.

L'objectif de ce travail est de tenter d'identifier à partir d'analyses qualitatives et quantitatives des preuves de l'influence de la fatigue sur la performance de l'équipage et à étudier la façon dont ces données pourraient être utilisées dans un futur SGS-RF.

4.2.1 Démarche suivie

L'étude à porté sur une nombre total de 1916 ASRs générés et fournies par les compagnies partenaires:

- 884 ASRs rétrospectifs dans la période du 01/08/2006 au 31/07/2007
- 1032 ASRs générés dans la période 01/08/2007 au 31/12/2008

597 ASRs générés par les compagnies partenaires dans la période du 11/12/2007 au 30/11/2008 ont été utilisés pour réaliser sur un an des analyses descriptives croisées avec les plannings.

Un total de 34 types d'événements (Tableau 18) générant un ASR ont été retenus tel que demi tour en vol, météo, remise de gaz, incursion ou confusion de piste, procédures (erreurs ou difficultés), GPWS ou EGPWS, trajectoire (écart de navigation ou d'altitude), ...

Type ASR retenu pour l'étude	
1	AIRPROX Réclamation ATC, RA, TCAS
2	Assistance Sol (environnement dégradé)
3	Atterrissage dur
4	Blessures
5	Carburant (situation d'urgences...)
6	Chargement (erreurs, matières dangereuses)
7	Communications (pannes ou défauts)
8	Demi-tour en vol
9	Déroutement
10	Dommmages au sol
11	Domaine de vol, performances (dépassement, pertes de performance....)
12	Évacuation d'urgence
13	Feu ou fumée
14	Freinage (altération, hydroplanage, éclatement....)
15	GPWS ou EGPWS
16	Incapacité (d'un membre d'équipage)
17	Incursion ou confusion de piste
18	Interruption de décollage
19	Météo (turbulences, foudroiement, cisaillement, givrage, etc...)
20	Navigation (pannes ou défauts, atterrissages ou approches automatiques non réussis)
21	Navigabilité/Pilotage (tout défaut....)
22	Panne moteur
23	Passage involontaire en dessous de l'altitude de sécurité
24	Procédures (erreurs ou difficultés)
25	Remise de gaz (en dessous 1000ft ou du à un cisaillement de vent)

26	Roulage (sorties, risques de collisions)
27	Sécurité (utilisation des réserves oxygène, matériels ou procédures déficients ou inappropriés)
28	Sorties de piste
29	Sûreté (passagers difficiles....)
30	Trajectoire (écart de navigation ou d'altitude supérieur à 300ft)
31	Turbulence de sillage
32	Urgence
33	Vibration d'origine aérodynamique
34	Autres

Tableau 18 :
Liste des types d'événements

Après avoir attribué un niveau de gravité à l'ASR, ces événements sont ensuite analysés pour être éventuellement traités en fonction de leur nature et leur niveau de gravité.

Le jugement de la gravité des ASRs est fait au préalable par la compagnie aérienne suivant le niveau LOW ou le niveau HIGH, indicatifs du niveau de gravité de l'événement.

Une fois les données recueillies, un premier niveau de traitement était réalisé :

- Structuration des ASRs depuis leur format d'origine « compagnie » en un tableau standard exploitable (MS Excel)
- Classification descriptive à partir des critères opérationnels tels que l'heure de survenue de l'événement, la gravité, la phase du vol, le type d'événement, etc.

Afin d'identifier des démarches d'analyse susceptibles d'être recommandées dans le cadre d'un SGS-RF ; les actions suivantes ont été réalisées :

- Réalisation des analyses qualitatives liées aux distributions des ASRs sur 24h
 - o Distribution des ASRs de gravité HIGH sur 24h
 - o Distribution des ASRs de gravité LOW sur 24h
 - o Distribution des ASRs sur 24h selon la typologie de l'arrêté sur le report obligatoire
 - o Distribution des ASRs par phase du vol sur 24h
- Réalisation des analyses croisées avec plannings (analyse quantitative) :

- Distribution des ASR par Classe de fatigue (F-2, F-1, F0, F+1, F+2)
- Distribution des ASR en fonction de la présence d'un repos réduit et de l'amplitude de service avant la survenue de l'ASR (LAA)
- Définition et mise en œuvre d'une méthode exploratoire basée sur le classement de l'ASR par expert opérationnel en fonction du lien de l'événement avec la fatigue
 - Etablissement des critères sur lequel l'expert s'appuie pour réaliser le classement des ASRs
 - Rédaction d'un Guide opérationnel pour l'analyse de la fatigue à partir des ASRs
 - Mise en œuvre du processus de validation pour cette classification
- Définition et mise en œuvre d'une Méthode exploratoire élémentaire axée sur la recherche de la fatigue avérée
- Sur la base de ces analyses, des orientations ont été réalisées pour intégrer la fatigue dans les ASRs à travers des fiches d'autoévaluation de la fatigue par l'équipage

Les chapitres suivants détaillent les méthodologies appliquées et les résultats obtenus ainsi que le retour sur les problèmes rencontrés avec la liste des incidents reportables de l'arrêté sur le report obligatoire.

4.2.2 Analyses qualitatives liées aux distributions des ASRs sur 24h

Après la définition de la population d'ASR générés par les compagnies partenaires (période du 01/12/2007 au 30/11/2008) les distributions des ASRs sur 24h ont été réalisées. Afin de prendre en compte l'effet du trafic les nombres horaires d'ASR (par tranche d'une heure) sont pondérés par le nombre cumulé d'heures de vol pour chaque plage horaire (exemple sur la figure n°11).

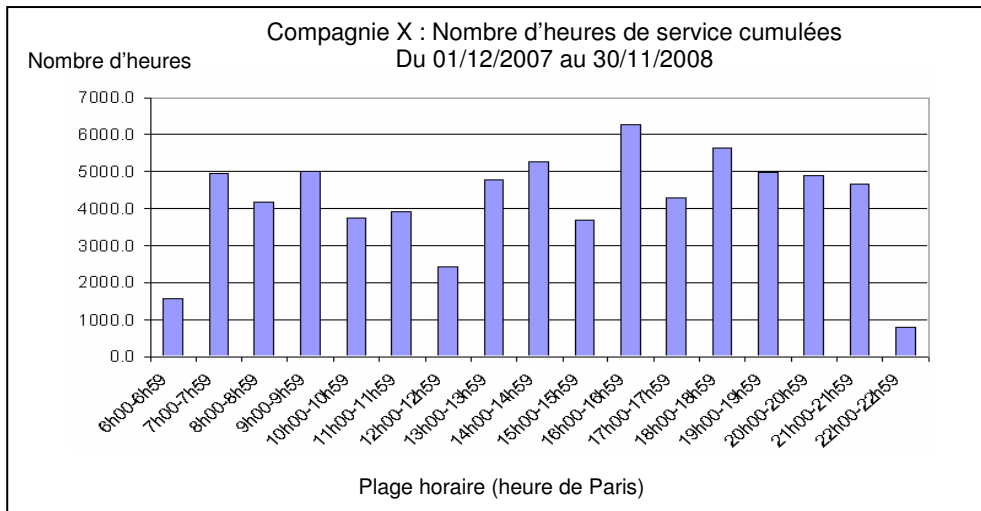


Figure n°11
Nombre d'heures de services cumulées

La figure n°12 présente un exemple du taux de ASRs en fonction de la plage horaire de l'occurrence de l'événement à l'origine de ces ASR. On constate un pic du taux des ASRs de gravité HIGH dans la plage 22h00-22h59 et deux pics du taux des ASRs de gravité LOW dans les plages 6h00-6h59 et 15h00-15h59. Ce premier résultat suggère un effet de l'heure du service sur la fréquence des ASR. Il est à noter que ces deux périodes correspondent à des creux des performances sur le plan du rythme biologique.

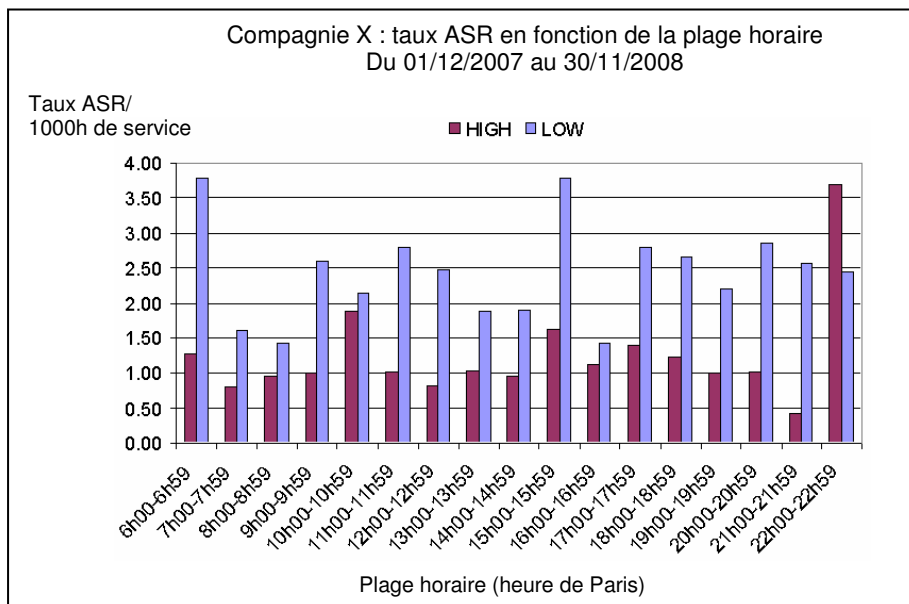


Figure n°12 :
Distribution des ASRs de gravité HIGH et LOW sur 24h

Afin d'étudier la nature des ASR, la répartition des ASRs par type d'événement est réalisée, un exemple de répartition est présenté dans la Figure n°13.

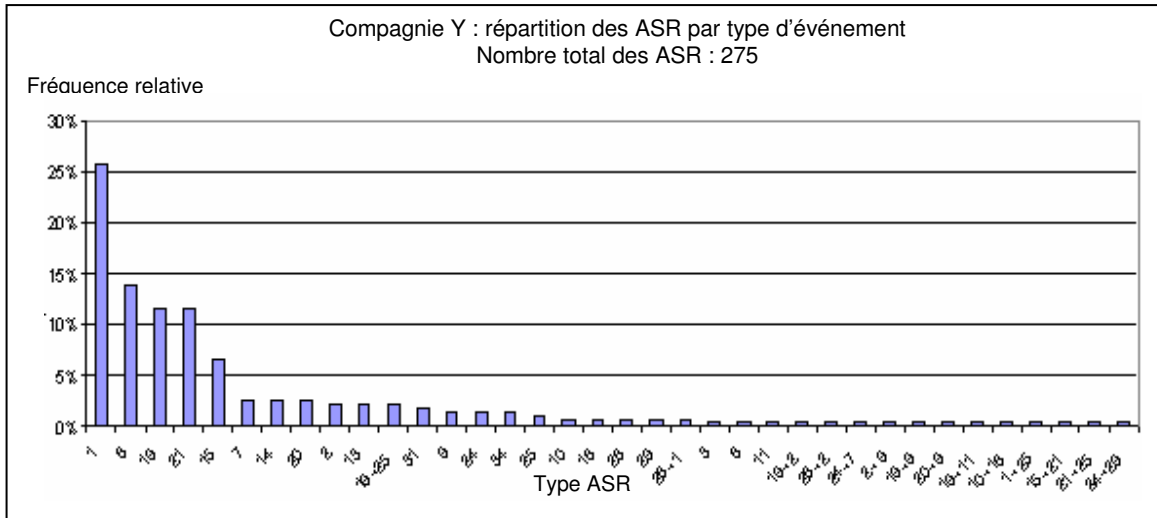


Figure n°13 :
Répartition des ASRs par type d'événement (exemple)

Dans cet exemple, les premiers 5 types d'ASR ordonnés en fonction de leurs fréquences d'apparition sont :

- Type 1 : AIRPROX Réclamation ATC, RA, TCAS
- Type 8 : Demi-tour en vol
- Type 19 : Météo (turbulences, foudroiement, cisaillement, givrage, etc.)
- Type 21 : Navigabilité/Pilotage (tout défaut....)
- Type 15 : GPWS ou EGPWS

Les nombres horaires d'ASR (par tranche d'une heure) pour ces événements pondérés par le nombre cumulé d'heures de vol pour chaque plage horaire sont présentés dans les figures 14 à 18.

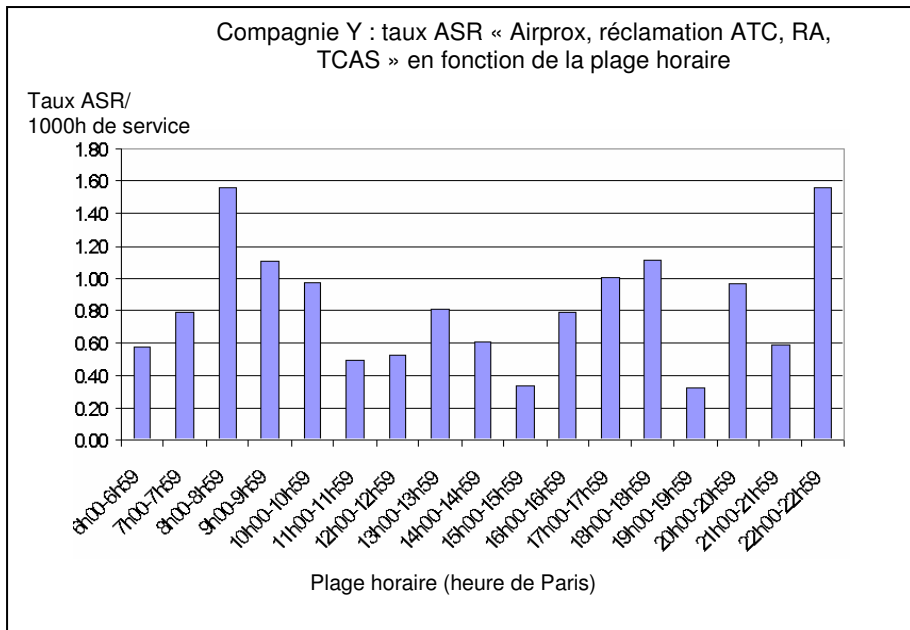


Figure n°14 :
Distribution des ASRs type AIRPROX sur 24H (exemple)

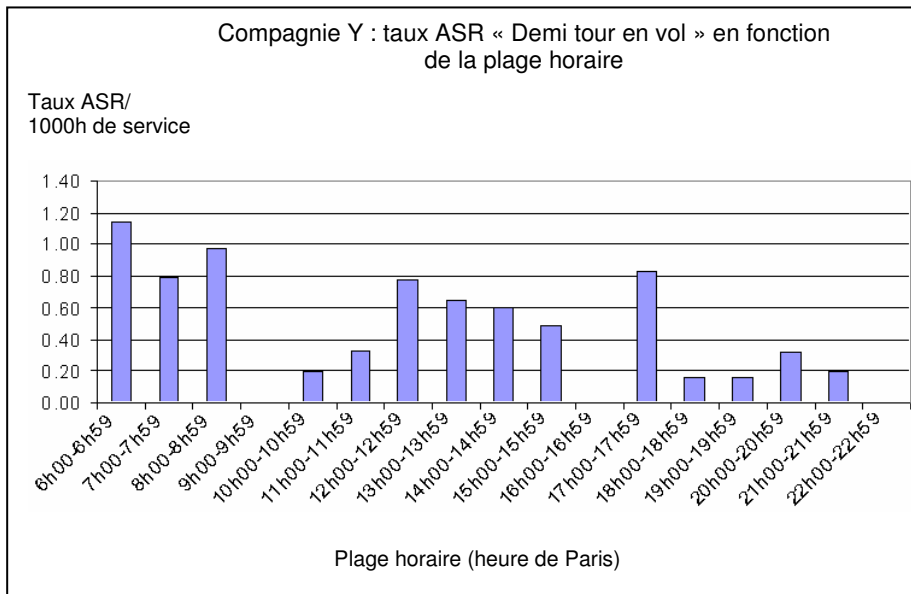


Figure n°15 :
Distribution des ASRs type DEMI-TOUR EN VOL sur 24H (exemple)

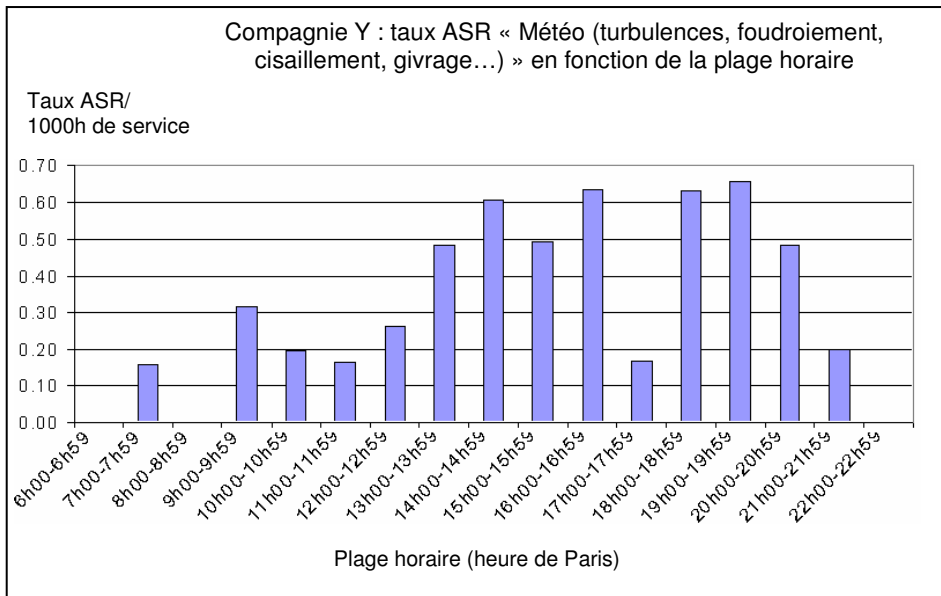


Figure n°16 :
Distribution des ASRs type METEO sur 24H (exemple)

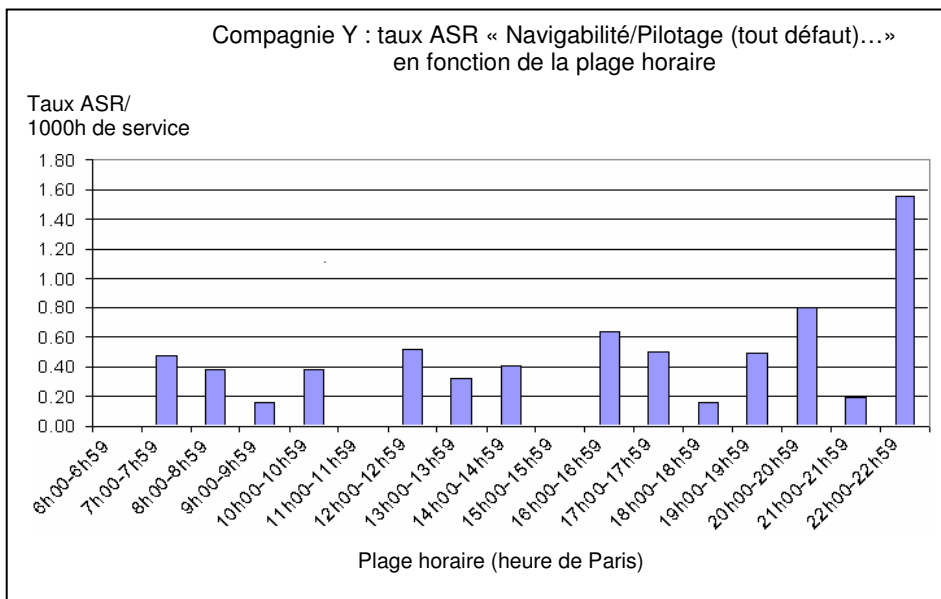


Figure n°17 :
Distribution des ASRs type NAVIGABILITE/PILOTAGE sur 24H (exemple)

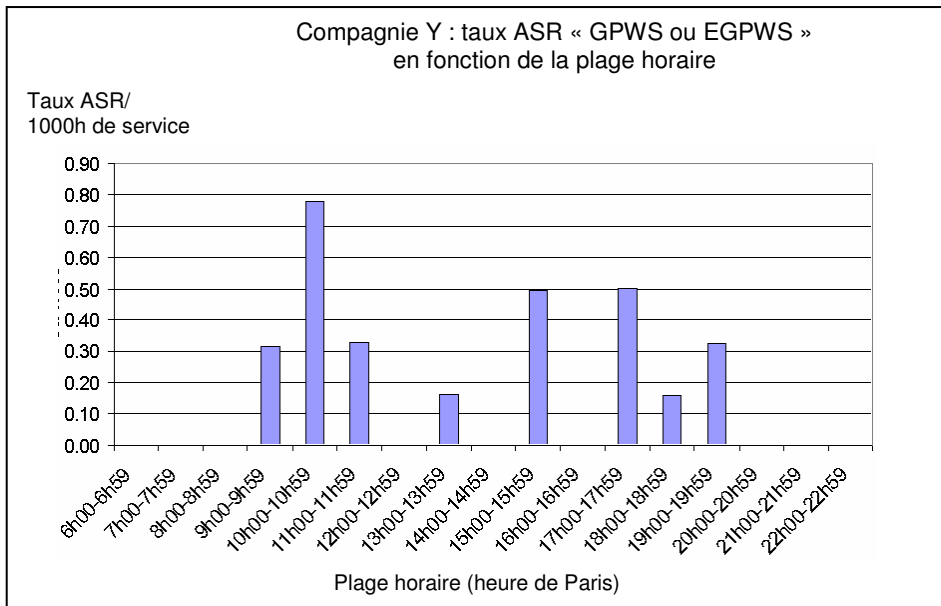


Figure n°18 :
Distribution des ASRs type GPWS ou EGPWS sur 24H (exemple)

La répartition des ASRs par phase de vol est réalisée, un exemple de répartition est présenté dans la Figure n°19.

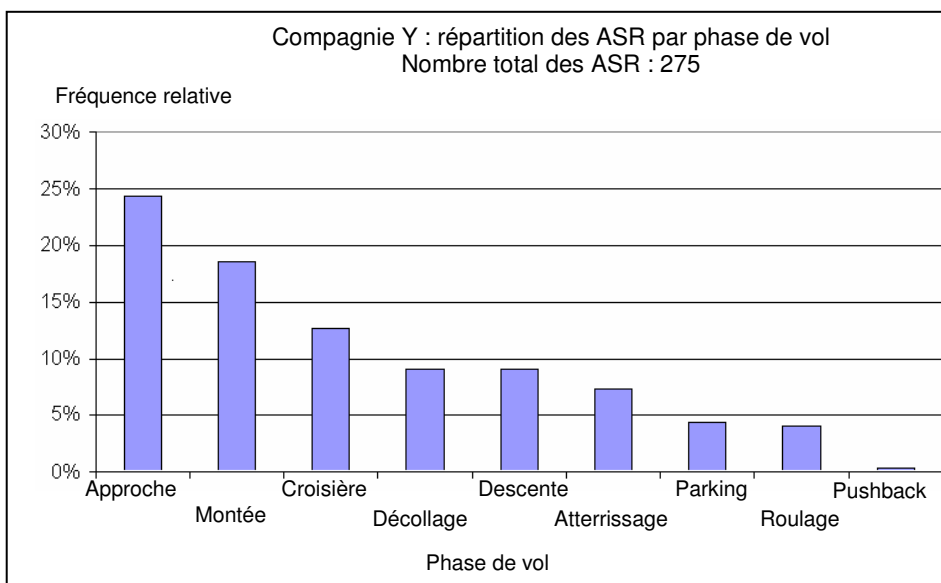


Figure n°19 :
Répartition des ASRs par phase de vol (exemple)

Dans cet exemple, les phases de vol au cours desquelles les ASRs par ordre de fréquences d'apparition sont :

- Approche
- Montée

- Croisière
- Décollage
- Descente.

Les nombres horaires d'ASR (par tranche d'une heure) pour ces événements pondérés par le nombre cumulé d'heures de vol pour chaque plage horaire sont présentés dans les figures 20 à 24.

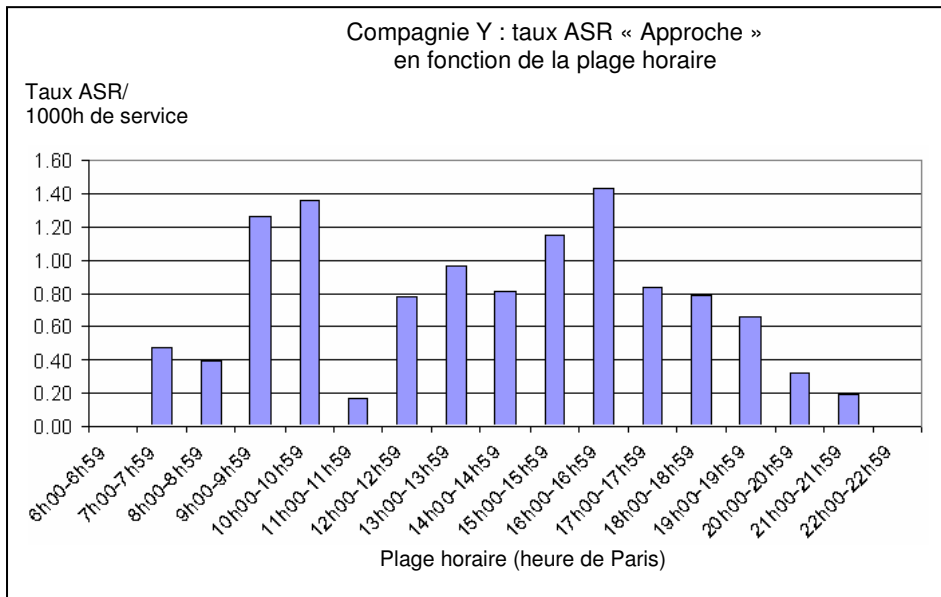


Figure n°20 :
Distribution des ASRs en phase APPROCHE sur 24h (exemple)

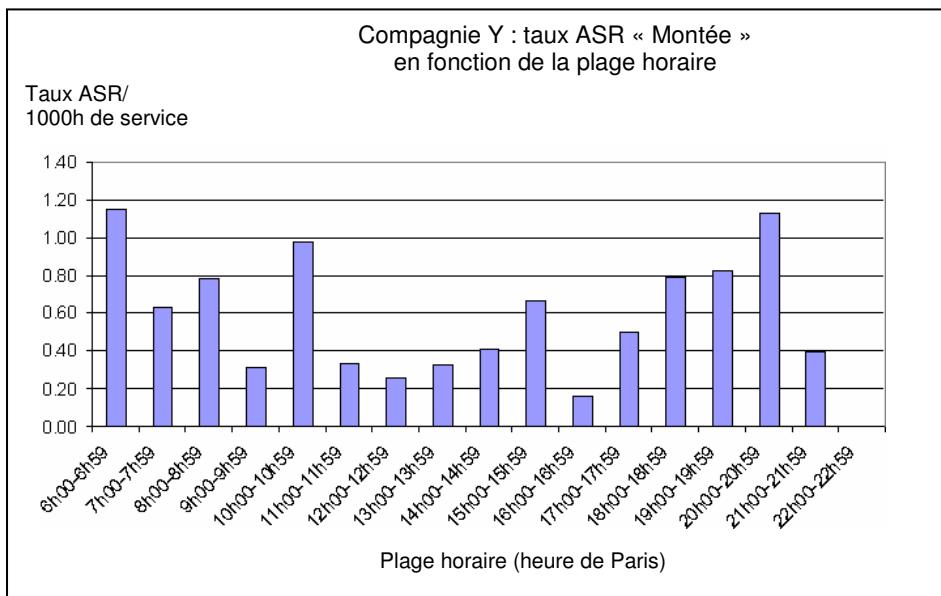


Figure n°21 :
Distribution des ASRs en phase MONTEE sur 24h (exemple)

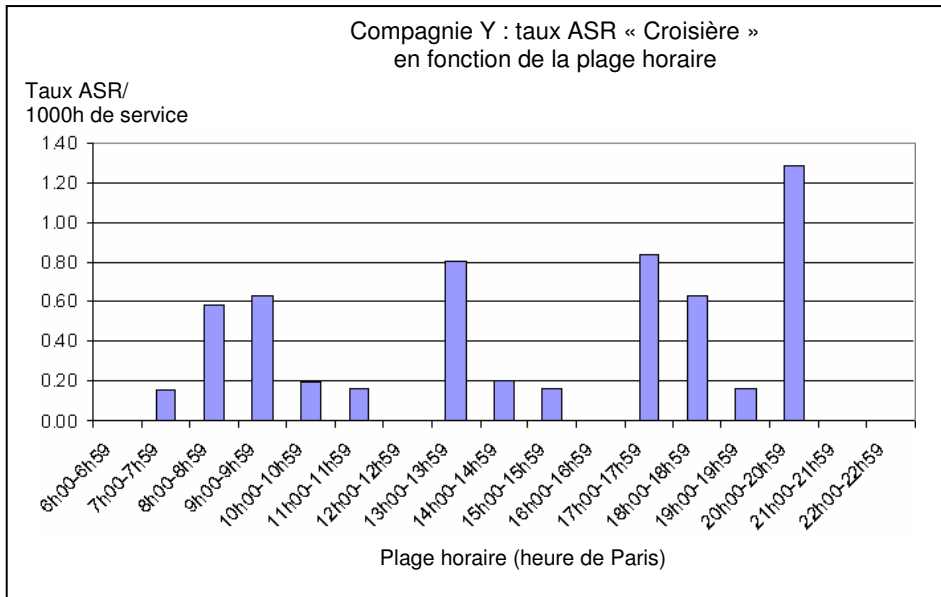


Figure n°22 :
Distribution des ASRs en phase CROISIÈRE sur 24h (exemple)

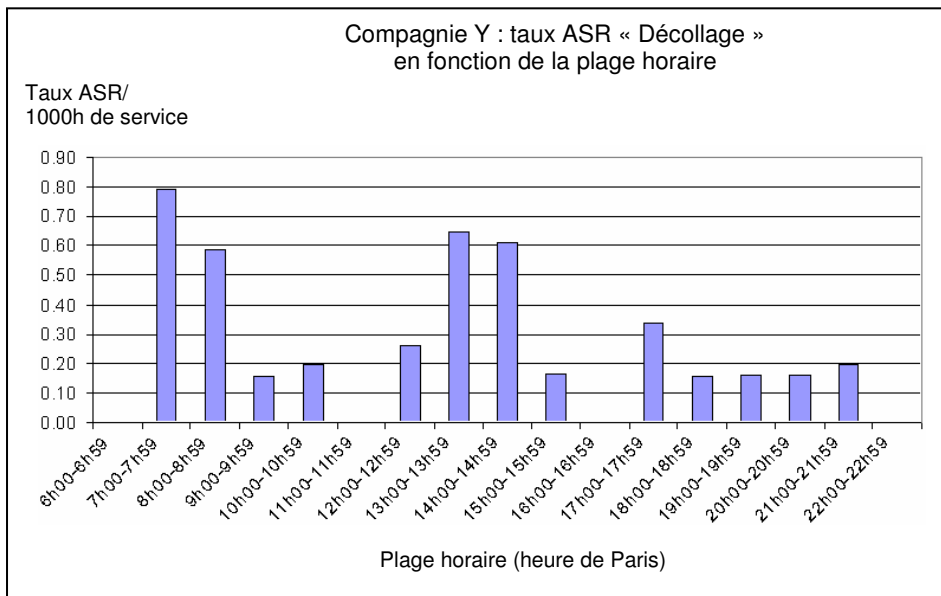


Figure n°23 :
Distribution des ASRs en phase DÉCOLLAGE sur 24h (exemple)

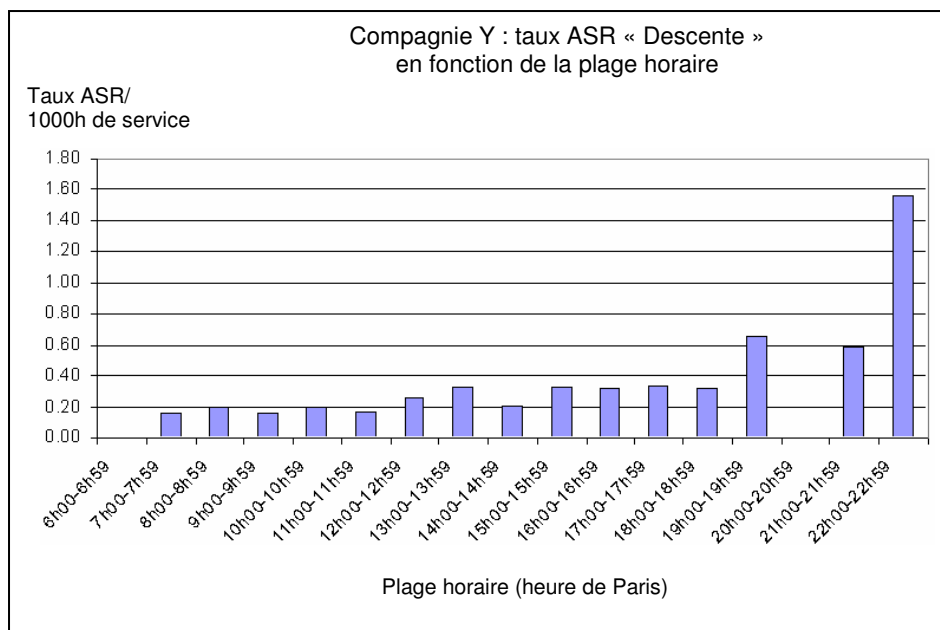


Figure n°24 :
Distribution des ASRs en phase DESCENTE sur 24h (exemple)

Nous pouvons voir des pics significatifs dans certaines plages horaires, pics qui sont spécifiques à chaque compagnie.

Nous attirons l'attention sur la nécessité de retenir une période d'analyse assez longue afin d'assurer des effectifs d'ASR statistiquement significatifs.

Des indicateurs dynamiques issus de l'analyse des ASRs pourront être extraits à partir de ces types des distributions.

4.2.3 Classement de l'ASR par expert opérationnel en fonction du lien de l'événement avec la fatigue (méthode exploratoire)

Cette phase a eu comme objectif de mettre en place et puis de valider une méthode exploratoire pour le classement des événements en fonction de leur lien avec la fatigue en se basant sur l'analyse par l'expert opérationnel pilote de chaque ASR.

Les étapes suivantes ont été réalisées :

- Etablissement des critères sur lequel l'expert s'appuie pour réaliser l'analyse descriptive des ASRs
- Classement par l'expert opérationnel des ASRs en fonction de leur lien avec la fatigue

- Rédaction d'un Guide opérationnel pour l'analyse de la fatigue à partir des ASRs
- Mise en oeuvre du processus de validation pour cette classification

L'expert opérationnel pilote s'appuie sur ses compétences et son expérience opérationnelle pour analyser l'événement (condition météo, vitesse, phase de vol, type d'alarme...). Chaque ASR est classé dans un tableau en fonction du niveau de fatigue soupçonnée: pas de fatigue – niveau 0, fatigue supposée – niveau 1 ou fatigue avérée–niveau 2. Ce classement intègre à la fois des critères de jugement opérationnels tel que :

- Approche non stabilisée
- Dépassement des limitations
- Ecart d'altitude en approche
- Ecart de navigation en croisière
- Vitesse excessive
- Oubli de transfert de fréquence,...

et des critères liés aux domaines de compétences pilote affectés :

- Conscience de la situation
- La capacité à évaluer et gérer les risques et menaces
- La capacité à gérer les interactions et la coopération avec les autres équipes de personnel
- La capacité à gérer les interactions avec les automatismes de vol
- La capacité à passer d'une situation contrôlée à une situation de crise, etc.

Guide opérationnel pour l'analyse de la fatigue à partir des ASRs

Les Informations nécessaires pour l'analyste sont :

- Formulaire officiel déclaratif de l'événement propre à la compagnie
- Liste des types d'événements (Tableau 18)
- Liste des critères opérationnels (Tableau 19)
- Liste des domaines de compétences pilote (Tableau 20, source étude DGAC ACOMPLI)
- Tableau Excel de structuration du contenu de l'ASR composé des colonnes suivantes :

- Référence ASR
- Date survenue événement
- Heure GMT
- Décalage horaire
- Heure locale
- Numéro de Vol
- Aéroports de départ et d'arrivée

- Type avion
- Immatriculation
- Phase du vol
- Description de l'événement
- Conséquences exploitation
- Type événement ASR
- Classement High/Low
- Critère opérationnel
- Domaine de compétences affecté
- Classement de l'événement en fonction du lien avec la fatigue (0 – pas fatigue, 1 – fatigue supposée, 2 – fatigue avérée)

N°	Critère opérationnel
COP1	Alarme GPWS
COP2	Alarme Master Warning
COP3	Approche non stabilisée
COP4	Collision/Quasi collision hors de la piste
COP5	Communication opérationnelle avec CTR
COP6	Communication opérationnelle entre PEQ
COP7	Décollage non autorisé
COP8	Défaillance Communication
COP9	Défaut de séquence
COP10	Demi tour en vol
COP11	Dépassement de limitations
COP12	Écart d'altitude en approche
COP13	Écart de navigation en croisière
COP14	Incursion piste
COP15	Maîtrise de la trajectoire
COP16	Maîtrise du changement de configuration
COP17	Mise en œuvre des systèmes de l'avion

COP18	Non anticipation de Windshear
COP19	Non optimisation de l'approche
COP20	Oubli transfert de fréquence
COP21	Passage sous le plan
COP22	Remise de gaz
COP23	Respect de la procédure
COP24	Surveillance des limitations
COP25	Surveillance radial de garde
COP26	Vérification affichage fréquence
COP27	Vérification check-list
COP28	Vérification matériel de piste
COP29	Vérification pré vol
COP30	Vérification trajectoire
COP31	Vitesse excessive

Tableau 19 :
Liste des critères opérationnels

N°	Domaine de compétence pilote affecté par la fatigue	Précisions
DCA1	Etre capable de se construire une représentation adéquate de la situation	Savoir dans quelle situation on se trouve, savoir en former un diagnostic
DCA2	Savoir évaluer et gérer le risque et les menaces	Redéfinition des priorités, identification des conditions de maintien des "fonctions vitales", clarification des butées, réallocation des ressources, etc.
DCA3	Savoir évaluer son domaine de compétence, en reconnaître les limites et être capable d'adapter sa tactique et sa stratégie	Etre conscient de ce que l'on sait et de ce que l'on ne sait pas faire, le partager explicitement et agir en conséquence
DCA4	Savoir passer d'une situation maîtrisée à une situation de crise	Basculer dans les stratégies de gestion adaptées

DCA5	Savoir construire et entretenir un niveau de confiance pertinent	Régler un niveau de confiance adapté aux évolutions de la situation
DCA6	Apprendre, mettre en œuvre, conserver les routines et habiletés de pilotages et de radiotéléphonie	
DCA7	Savoir contribuer à prendre une décision en environnement complexe	Environnement complexe : situation dynamique comprenant des interactions en temps réel entre différents acteurs, tâches et facteurs.
DCA8	Savoir gérer les interactions avec les automatismes de l'avion	
DCA9	Connaître, comprendre, et savoir gérer le "jargon" aéronautique	Communications standardisées amenant une meilleure compréhension et coopération entre les acteurs
DCA10	Savoir gérer les interactions et la coopération avec les autres personnels	Savoir faire preuve de considération pour les autres, juger les faits et non les personnes
DCA11	Savoir utiliser "intelligemment" les procédures	Comprendre ce que l'on fait et dans quel contexte on le fait
DCA12	Savoir utiliser les ressources techniques et humaines disponibles, et savoir les reconfigurer	
DCA13	Savoir gérer le temps et la pression temporelle	
DCA14	Être capable de transposer de façon pertinente, d'un contexte à un autre, une connaissance ou un savoir faire	
DCA15	Gestion des instruments, des technologies de l'information et de la communication	

Tableau 20 :
Liste des domaines de compétences pilote

Les phases d'analyse opérationnelle sont :

- **Phase 1** : Identifier le type d'avion
- **Phase 2** : Identifier les données factuelles de l'événement (heure, phase de vol, météo, configurations machines, lieux, altitude)
- **Phase 3** : Analyser le descriptif de l'événement
- **Phase 4** : Dégager les différents critères opérationnels permettant une classification de l'événement
- **Phase 5** : Proposer à l'expert pilote de la compagnie, ou au collège d'experts d'identifier les domaines de compétences pilote mises en défaut pendant l'événement, et à lui d'en sortir ceux reliés à la fatigue
- **Phase 6** : Proposer à l'expert pilote de la compagnie de classer le niveau de l'événement lié à la fatigue :
 - « 0 » *pas de fatigue* : Aucun domaine de compétences pilote mis en défaut pendant l'événement.
 - « 1 » *fatigue supposée* : Domaine de compétences pilote mis en défaut pendant l'événement dont les écarts opérationnels ont été rattrapés par l'équipage.
 - « 2 » *fatigue avérée* : Domaine de compétences pilote mis en défaut pendant l'événement et/ou fatigue évidente déclarée par l'équipage dans le descriptif de l'ASR, entraînant une performance dégradée de cet équipage.

L'analyste aura la possibilité de consulter d'autres indicateurs représentatifs comme par exemple : le taux annuel d'activation des critères opérationnels et des compétences pilote affectées par classe de fatigue, par type d'ASR ou par gravité et d'intégrer éventuellement d'autres critères issus de l'étude STARE sur les plannings (séquences F+ F- par exemple, éventuellement des ASV).

Le **processus de validation** a visé le jugement par des pilotes opérationnels en dehors du consortium sur la base des critères retenus et sur un lot de 30 ASRs choisis en « aveugle ». Les résultats sont présentés dans le tableau 21 et sont basés sur l'analyse inter juges à l'aide de la méthode Kappa.

N° ASR	Expert 0	Expert 1	Expert 2	Expert 3
ASR1	0	0	0	0
ASR2	0	0	0	0
ASR3	1	1	1	1
ASR4	0	0	0	0
ASR5	1	1	0	1
ASR6	0	0	0	0
ASR7	1	1	1	1
ASR8	0	1	1	1
ASR9	1	2	0	1
ASR10	1	1	0	1
ASR11	0	0	0	0
ASR12	0	0	0	0
ASR13	1	1	1	1
ASR14	1	1	1	0
ASR15	0	0	0	0
ASR16	1	1	1	1
ASR17	0	0	0	0
ASR18	1	1	1	1
ASR19	1	1	0	1
ASR20	0	0	0	0
ASR21	0	1	1	1
ASR22	1	1	1	1
ASR23	1	1	1	1
ASR24	0	0	0	0
ASR25	1	1	0	0
ASR26	0	0	0	0
ASR27	2	1	2	2
ASR28	0	2	0	0
ASR29	0	0	0	0
ASR30	1	1	0	0

Statistiques simples :

Variable	Modalités	Effectifs	%
Expert 0	0	15	50,000
	1	14	46,667
	2	1	3,333
Expert 1	0	13	43,333
	1	15	50,000
	2	2	6,667
Expert 2	0	19	63,333
	1	10	33,333
	2	1	3,333
Expert 3	0	16	53,333
	1	13	43,333
	2	1	3,333

Matrice de proximité (similarité générale) :

	Expert 0	Expert 1	Expert 2	Expert 3
Expert 0	1	0,800	0,733	0,833
Expert 1	0,800	1	0,767	0,833
Expert 2	0,733	0,767	1	0,833
Expert 3	0,833	0,833	0,833	1

0 - pas de fatigue
 1 - fatigue supposée
 2 - fatigue avérée

	P0	PE	K	Z	p	Degré d'accord
Expert0 + Expert1	0,8	0,45	0,63636	3,85	0,0002	Bon
Expert0 + Expert2	0,73	0,47	0,49057	2,85	0,0069	Modéré
Expert0 + Expert3	0,83	0,47	0,67952	3,95	0,0002	Bon
Expert1 + Expert2	0,77	0,44	0,58929	3,64	0,0005	Modéré
Expert1 + Expert3	0,83	0,45	0,69091	4,18	<0,0001	Bon
Expert2 + Expert3	0,83	0,48	0,67308	3,84	0,0003	Bon

P0 : proportion d'accord observée
 PE : proportion d'accord aléatoire (ou concordance attendue sous l'hypothèse d'indépendance des jugements)
 K : coefficient Kappa
 Z : variable de test pour hypothèse nulle (K=0) pour Intervalle de confiance=95%
 p : degré de significativité

Grille : degré d'accord et valeur de Kappa :

Accord	Kappa
Excellent	>0,81
Bon	0,80 - 0,61
Modéré	0,60 - 0,41
Médiocre	0,40 - 0,21
Mauvais	0,20 - 0,0
Très mauvais	<0,0

Tableau 21 :
Analyse Kappa des accords inter juges

Sur l'ensemble le degré d'accord inter juges Kappa est « Modéré vers Bon ».

La figure n°25 présente des recommandations pouvant être formulées à l'issue de l'analyse en matière d'exploitations des ASR :

- Méthode élémentaire de base axée sur la recherche de la fatigue avérée (cf. méthode précédemment exposée et développée en §4.2.4 et 4.2.5)
- Méthode avancée basée sur l'intégration de la fatigue dans les ASRs à travers des fiches d'autoévaluation de la fatigue par l'équipage.

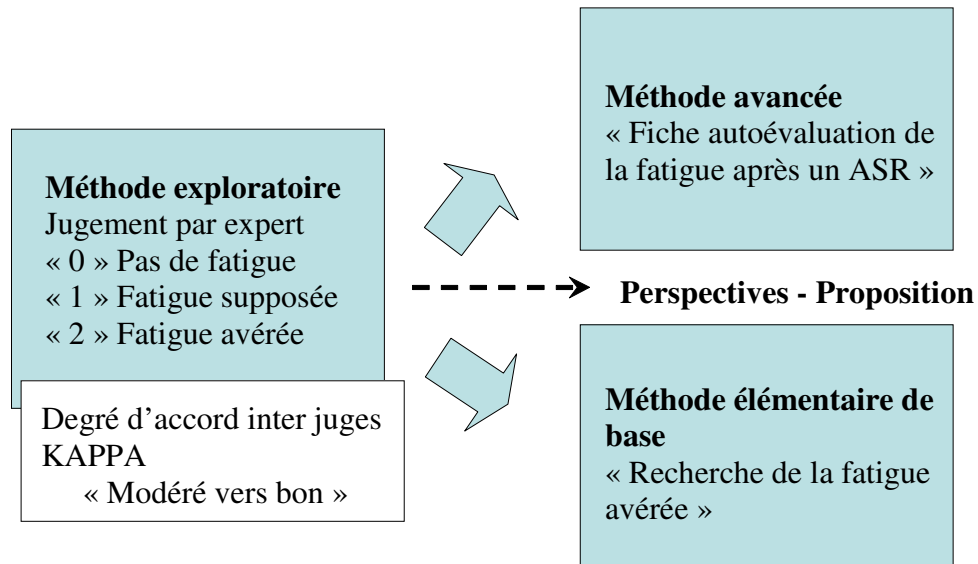


Figure 25 :
Méthode préconisée d'analyse des ASR

4.2.4 Méthode élémentaire de base : Recherche de la fatigue avérée

Les nombres horaires d'ASR ou la fatigue est avérée (par tranche d'une heure) sont pondérés par le nombre cumulé d'heures de vol pour chaque plage horaire. La figure n°26 présente un exemple de la distribution des ASRs ou la fatigue est avérée sur 24h.

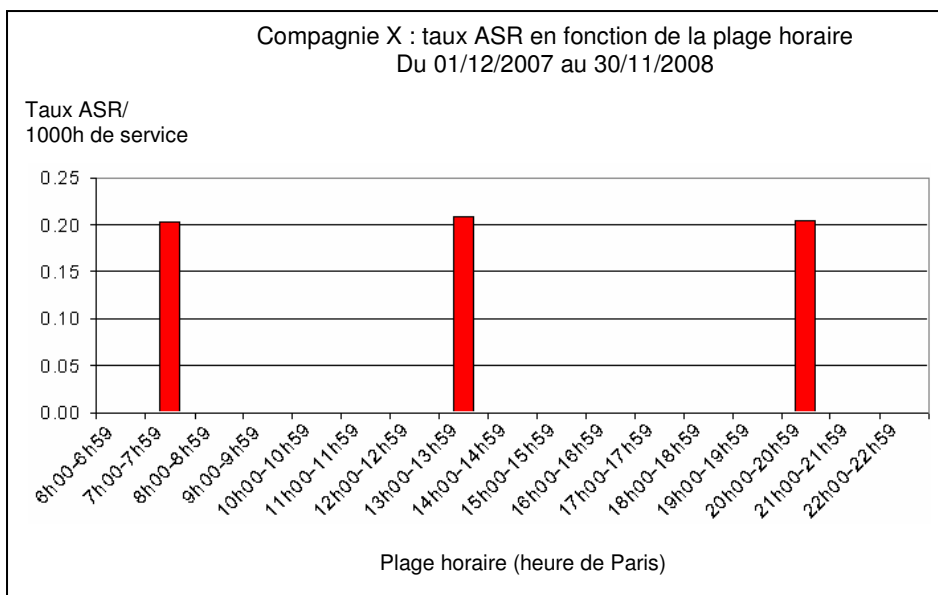


Figure n°26 :
Distribution des ASRs ou la fatigue est avérée sur 24h

Nous pouvons voir trois pics du taux des ASRs pour 1000 heures de services ou la fatigue est avérée dans les plages 7h00-7h59 , 13h00-13h59 et 20h00-20h59.

4.2.5 Analyse croisée avec plannings (analyse quantitative)

L'objectif de ce traitement est d'identifier un lien éventuel entre le risque fatigue évalué dans l'analyse des plannings réalisée par le LAA (cf chapitre 3.1) et les ASR. Rappelons que l'analyse du LAA permet l'identification de séquences des plannings considérées comme fatigantes (F+) et non fatigantes (F-). Finalement, des corrélations entre les critères issus de l'analyse descriptive qualitative (sévérité, précurseurs, causes etc.) et les séquences des plannings identifiées comme fatigantes ou non fatigantes ont été réalisées.

Nous présentons ci-après un exemple d'analyse descriptive et sa correspondance avec l'analyse des plannings pour l'ASR suivant « Descente trop tardive, fatigue (3ème levé tôt de la semaine, 5ème jour d'activité), avion non configuré à 1000ft, remise de gaz, souple, sans incidence sur la suite. Atterrissage normal ». L'expert opérationnel classe l'ASR en niveau 2 (fatigue avérée) en fonction du lien de l'événement avec la fatigue (conscience de la situation d'une approche non stabilisée). Les résultats issus d'analyse LAA des plannings du CDB et OPL sur 15 jours avant la survenue de l'événement sujet de l'ASR sont

- Niveau fatigue CDB (Probabilité $KSS \geq 7$) = 30

- Niveau fatigue OPL (Probabilité KSS ≥ 7) = 26
- Rang de vol CDB et OPL = 1

Pour avoir une visibilité sur l'effet du niveau de fatigue de l'équipage sur l'occurrence d'événements à l'origine d'ASR nous avons réalisé des distributions des ASR par classe de fatigue de l'équipage.

En analysant les plannings fournis par les compagnies partenaires sur une période d'un an (du 01/12/2007 au 30/11/2008) le LAA a attribué à chaque membre de l'équipage une séquence fatigante (F+), neutre (N) ou non fatigante (F-). Les classes de fatigue pour l'équipage sont définies de la manière suivante (pas de différence PN/PNF):

- Fatigue -2 (F- / F-)
- Fatigue -1 (F- / N ou N / F-)
- Fatigue 0 (N / N)
- Fatigue 1 (F+ / N ou N / F+)
- Fatigue 2 (F+ / F+)

Le groupe particulier (F- / F+) ou (F+ / F-) n'a pas été intégré dans l'analyse, les cas étant non significatifs.

Après l'identification des classes de fatigue pour les équipages ayant générés des ASRs les nombres des vols associés à un ASR sont pondérés par le nombre des vols réalisés dans chaque Classe de fatigue. Les analyses statistiques descriptives permettent d'obtenir les Distributions des taux d'ASRs pour 1000 vols par classe de fatigue (exemple Figure n°27).

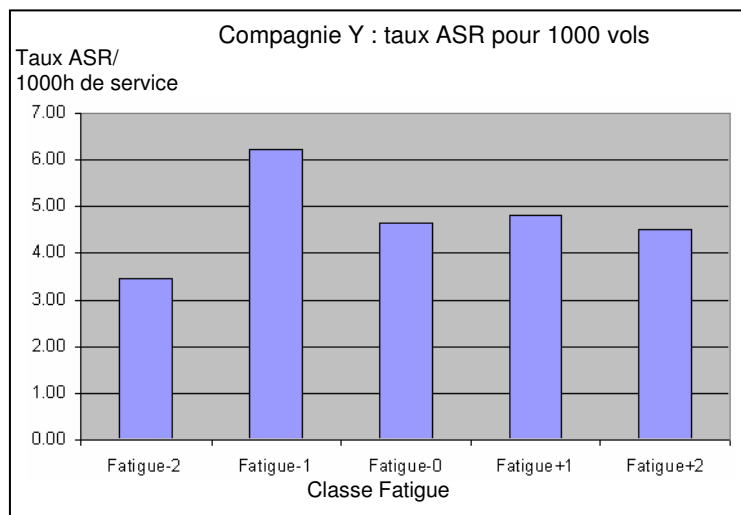


Figure n°27 :
Taux d'ASRs pour 1000 vols par classe de fatigue (exemple)

L'étude de significativité statistique pour IC95% (p< 0.05) des distributions d'ASR par classe de fatigue est présentée a titre d'exemple dans le Tableau 22.

Compagnie Y (période du 01/12/2007 au 30/11/2008):

	Nb Vols
Fatigue-2	6968
Fatigue-1	5801
Fatigue-0	38544
Fatigue+1	3972
Fatigue+2	3782

ASRs

	Nb ASRs	Nb Vols	Nb. ASRs/1000 vol	IC bas	IC haut
Fatigue-2	24	6968	3.44	3.08	3.81
Fatigue-1	36	5801	6.21	5.72	6.69
Fatigue-0	179	38544	4.64	4.22	5.07
Fatigue+1	19	3972	4.78	4.35	5.21
Fatigue+2	17	3782	4.49	4.08	4.91

significativité à p < 0,05

(OUI : pas de recouvrement; NON : recouvrement)

	Fatigue-2	Fatigue-1	Fatigue-0	Fatigue+1	Fatigue+2
Fatigue-2		OUI	OUI	OUI	OUI
Fatigue-1	OUI		OUI	OUI	OUI
Fatigue-0	OUI	OUI		NON	NON
Fatigue+1	OUI	OUI	NON		NON
Fatigue+2	OUI	OUI	NON	NON	

ASRs HIGH

	Nb ASRs	Nb Vols	Nb. ASRs/1000 vol	IC bas	IC haut
Fatigue-2	20	6968	2.87	2.54	3.20
Fatigue-1	28	5801	4.83	4.40	5.26
Fatigue-0	146	38544	3.79	3.41	4.17
Fatigue+1	13	3972	3.27	2.92	3.63
Fatigue+2	15	3782	3.97	3.58	4.36

significativité à p < 0,05

(OUI : pas de recouvrement; NON : recouvrement)

	Fatigue-2	Fatigue-1	Fatigue-0	Fatigue+1	Fatigue+2
Fatigue-2		OUI	OUI	NON	OUI
Fatigue-1	OUI		OUI	NON	OUI
Fatigue-0	OUI	OUI		NON	NON
Fatigue+1	NON	OUI	NON		NON
Fatigue+2	OUI	OUI	NON	NON	

ASRs LOW

	Nb ASRs	Nb Vols	Nb. ASRs/1000 vol	IC bas	IC haut
Fatigue-2	4	6968	0.57	0.43	0.72
Fatigue-1	8	5801	1.38	1.15	1.61
Fatigue-0	32	38544	0.83	0.65	1.01
Fatigue+1	6	3972	1.51	1.27	1.75
Fatigue+2	2	3782	0.53	0.39	0.67

significativité à p < 0,05

(OUI : pas de recouvrement; NON : recouvrement)

	Fatigue-2	Fatigue-1	Fatigue-0	Fatigue+1	Fatigue+2
Fatigue-2		OUI	NON	OUI	NON
Fatigue-1	OUI		OUI	NON	OUI
Fatigue-0	NON	OUI		OUI	NON
Fatigue+1	OUI	NON	OUI		OUI
Fatigue+2	NON	OUI	NON	OUI	

Tableau 22 :

Analyse de la significativité (p<0.05) des distributions d'ASR par classe de fatigue (exemple)

Afin d'accroître la visibilité des résultats le tableau de bord suivant (Tableau 23) est proposé.

On y lit par exemple dans la dernière colonne qu'un équipage dont la classe de fatigue est +2 (séquences fatigantes pour les deux membres d'équipage) produit significativement moins d'ASR qu'un équipage dont la classe de fatigue est -1 (séquence peu fatigante pour un membre d'équipage, neutre pour l'autre). L'avant dernière colonne montre en revanche qu'un équipage dont la classe de fatigue est +1 (séquence fatigante pour un membre d'équipage, neutre pour l'autre) produit significativement plus d'ASR qu'un équipage dont la classe de fatigue est -2 (séquences non fatigantes pour les deux membres d'équipage)

CRITERE	Fatigue-1/ Fatigue-2	Fatigue-0/ Fatigue-1	Fatigue+1/ Fatigue-0	Fatigue+2/ Fatigue+1	Fatigue+2/ Fatigue-2	Fatigue-0/ Fatigue-2	Fatigue+2/ Fatigue-0	Fatigue+1/ Fatigue-1	Fatigue+1/ Fatigue-2
Nb ASR/1000 vols	+	-			+	+		-	+
Nb ASR "HIGH" / 1000 vols	+				+	+			
Nb ASR "LOW" / 1000 vols	+	-	+	-					+
Nb ASR "jugement expert=fatigue avérée" / 1000 vols							+		
Nb ASR "jugement expert=fatigue supposée" / 1000 vols	+		-	+		+		-	
Nb ASR "jugement expert=pas de fatigue" / 1000 vols						+		+	+
Total (+) - Total (-)	4	-2	0	-1	2	4	1	-1	3

+ : rapport supra unitaire significatif (*)
 - : rapport sous unitaire significatif (*)
 (*) pas de recouvrement [IC95%bas;IC95%haut] --> Significatif à p<0,005
 (**) recouvrement [IC95%bas;IC95%haut] --> Non significatif à p<0,005

Tableau 23 :

Tableau de bord pour les distributions d'ASR par classe de fatigue (exemple)

Les critères d'analyse peuvent être :

- Nombre ASRs / 1000 vols
- Nombre ASRs « HIGH » / 1000 vols
- Nombre ASRs « LOW » / 1000 vols
- Nombre ASRs « Type AIRPROX » / 1000 vols
- Nombre ASRs « jugement expert= fatigue avérée » / 1000 vols
- Nombre ASRs « jugement expert= fatigue supposée » / 1000 vols
- Nombre ASRs « jugement expert= pas fatigue » / 1000 vols
- Etc.

Ce mode de représentation offre la possibilité de surveiller en temps (sur des périodes de temps appropriées à une exploitation par une compagnie aérienne) la dynamique de ces critères voire d'un critère cumulatif comme présenté à titre d'exemple dans le tableau 23.

Nota

Les ASRs générés par les compagnies partenaires dans la période d'un an (du 01/12/2007 au 30/11/2008), structurés et analysés par AFC, ont été utilisés par le LAA pour réaliser des distributions des ASR en fonction du repos réduit et de l'amplitude de service avant la survenue de l'événement (présentation LAA). L'objectif est de déterminer s'il existe un effet des repos réduits et de la durée du service sur la fréquence des ASR. Ce traitement consiste donc à comparer la fréquence des ASR/1000h de vols pour les services du matin survenant après un repos standard ou après un repos réduit. Ce traitement est réalisé pour trois classes de durées de service : entre 0h et 3h, entre 3h et 5h et plus de 5h. Par exemple, un événement ayant conduit à la rédaction d'un ASR et survenu dans les tris premières heures de service sera comptabilisé dans le première classe. L'hypothèse est que la fréquence d'ASR augmente avec la durée des services et la présence d'un repos réduit.

La figure n°28, qui présente les résultats séparés pour les 3 compagnies, ne conforte que partiellement cette hypothèse. On note un effet non linéaire de la durée des services sur la fréquence des ASR avec une augmentation statistiquement significative entre 3 et 5 h de service pour les services du matin survenant après un repos réduit. Pour les services survenant après un repos standard la fréquence des ASR tend au contraire à augmenter de manière linéaire pour les compagnies Y et Z. Pour la compagnie X on constate au contraire une réduction de la fréquence des ASR pour les durées les plus élevées. Ce résultat spécifique à cette compagnie s'explique par une moindre quantité de durées de service élevée : la taille de l'échantillon rend le résultat non significatif.

On ne note en outre, pour deux des trois opérateurs (exploitants X et Y), 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 un des trois opérateurs (exploitant Z), on constate 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.

L'augmentation de la fréquence des ASR entre 3 et 5h après repos réduit pourrait être associée à une augmentation de la fatigue. La réduction au-delà de 5h de service après repos réduit pourrait s'expliquer par le fait que les équipages développent des stratégies visant à réduire l'impact de la fatigue (utilisation plus importante des automatismes, application plus stricte des procédures, augmentation des cross checks,...).

Pour la compagnie Z, la singularité que constitue le nombre significativement moins élevé d'ASR après 5h de service dans le cas d'un repos réduit s'explique probablement par des spécificités dans les rotations de cette 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 appropriés et d'autre part, dans le futur, un enrichissement du recueil des ASR par des informations plus qualitatives. C'est ce qui est proposé à la fin de ce chapitre et repris dans le guide SGS-RF.

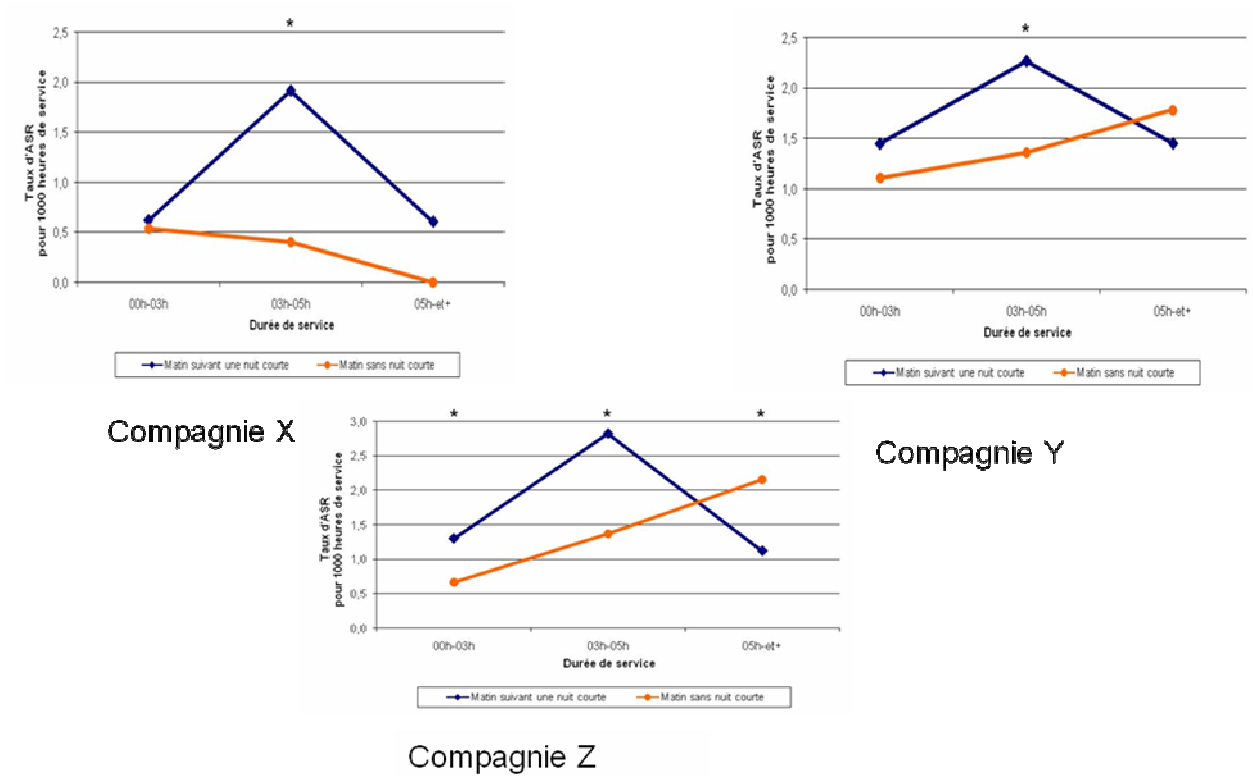


Figure n°28 :
Distributions des ASR en fonction du repos réduit et de l'amplitude de service avant la survenue de l'événement

4.2.6 Conclusions

Les résultats de l'analyse descriptive des ASRs réalisée par AFC montre le potentiel offert par le retour opérationnel de terrain pour pouvoir, en croisé avec les autres regards notamment l'analyse des plannings, mettre en évidence des liens entre la fatigue et des événements susceptibles d'impacter la sécurité des vols.

La démarche exploratoire basée sur l'analyse du contenu d'ASR par l'expert opérationnel combinée avec l'analyse statistique descriptive ont permis de proposer la conception des outils avancés d'analyse opérationnelle sur l'impact de la fatigue et d'orienter l'intégration d'un retour d'information relatif à la fatigue dans l'ASR (fiches spécifiques par exemple).

4.3 - Analyse des événements issus des ASV -

L'étude de la fatigue et de la sécurité au travers de l'analyse des paramètres de vol est un enjeu important dans le cadre de la mise en place d'un observatoire de l'activité des PNT. Le traitement des paramètres de vol est un sujet sensible au sein des compagnies car il permet d'observer directement la manière dont les vols sont réalisés par les équipages. Le contrôle de leur utilisation est stratégique tant pour la direction –car l'image de la compagnie peut être directement impacté par l'interprétation des résultats– que pour les membres d'équipage dont on observe des traces de leur gestion du vol. Cette utilisation fait l'objet de conventions entre la direction et les représentants des personnels navigants, assurant notamment leur utilisation au seul profit de la gestion de la sécurité des vols, conformément à la réglementation. Les travaux présentés dans ce rapport entrent bien dans ce cadre, mais les accords spécifiques à chaque compagnie n'ont permis de réaliser cette partie de l'étude qu'avec une des compagnies partenaire de l'étude. L'ensemble des données et des résultats est couvert par un accord de confidentialité.

Les paramètres de vol sont aujourd'hui analysés de façon systématique à l'issue de chaque vol au sein des compagnies aériennes. Les résultats de ces analyses contribuent à une meilleure visibilité de certaines pratiques, mais la question est posée de savoir s'il est possible à travers ces analyses d'appréhender la fatigue et sa relation à la sécurité. La contribution ONERA se concentre sur les possibilités offertes par l'analyse des paramètres de vol pour un système de gestion du risque fatigue.

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.

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) 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., 2003) étudient 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'événements de sévérité 3 avec le type de rotation 5/2/5/4, initialement construite pour minimiser les méfaits circadiens.

L'étude STARE vise à aller plus loin dans la recherche des possibilités offertes par l'analyse systématique des vols pour objectiver des niveaux de fatigue et leurs conséquences sur la sécurité des vols au travers de l'objectivation, via les paramètres enregistrés et traités par les systèmes d'analyse des vols des compagnies, d'écarts mesurés dans la conduite du pilotage ou de manifestations symptomatiques dans l'activité de pilotage. Pour cela, il a été proposé puis mis en œuvre une méthodologie permettant d'évaluer la contribution possible d'un système d'ASV au sein d'un SGS-RF. Celle-ci est présentée dans la section 4.3.1. Son application aux données de vols réels d'une compagnie aérienne pendant 12 mois a permis d'en extraire des recommandations de mise en œuvre qui font l'objet du guide de mise en œuvre.

4.3.1 Méthode

Nous présentons ici la méthodologie d'analyse utilisée dans le projet STARE. Elle a pour but d'étudier si les événements recherchés dans un système d'ASV d'une compagnie aérienne sont sensibles à l'état de fatigue de l'équipage et peuvent ainsi être candidats à une utilisation dans un SGS-RF. Son originalité par rapport aux études citées au paragraphe précédent repose sur:

- ✓ l'exploration d'un large spectre de facteurs (rotation, heure...) dont un facteur lié à une estimation du risque fatigue via des modèles chronobiologiques,
- ✓ sur la prise en compte systématique des 3 niveaux de sévérité des événements ASV pour évaluer l'impact d'un facteur donné sur chacun des niveaux ainsi que son impact sur la combinaison des niveaux,
- ✓ la recherche de l'impact d'un facteur sur chaque type d'événement ASV et non pas seulement sur l'ensemble des événements.

La construction de cette méthodologie d'analyse et sa mise en place ont reposé sur une interaction avec les trois compagnies aériennes partenaires du projet.

- ✓ La première étape a consisté en une étude détaillée des événements recueillis par les systèmes d'ASV de chacune des compagnies pour les appareils concernés par l'étude (ATR, CRJ et ERJ). Ces types d'événements et leurs

modes de calcul sont propres au type d'appareil et à la politique de sécurité des vols de la compagnie, même si certains types d'évènements sont communs à toutes les compagnies (Approche non stabilisée par exemple).

- ✓ La deuxième étape a permis, en lien avec les personnels des bureaux sécurité des vols des compagnies, d'évaluer les impacts potentiels de la fatigue sur chacun de ces indicateurs. Il est alors apparu clairement que certains évènements avaient des raisons objectives d'être impactés par la fatigue des équipages (dépassement de la VMO par exemple qui peut être liée à un manque de vigilance) alors que d'autres évènements ne sont pas directement liés à la fatigue (Windshear warning par exemple). Cette connaissance a priori sur les liens possibles entre les évènements et des niveaux de fatigue a confirmé la démarche pressentie pour les analyses statistiques qui consiste à traiter les évènements de manière individuelle, au lieu de rechercher l'impact de la fatigue sur l'ensemble des évènements d'une certaine sévérité. Elle a ainsi conforté l'idée qu'il fallait identifier si certains évènements pouvaient devenir des indicateurs d'un SGS-RF au lieu de se concentrer sur la recherche d'un indicateur global. Par ailleurs, ces informations sur les évènements seront utilisées pour évaluer la cohérence des résultats produits par les analyses statistiques.
- ✓ La troisième étape a reposé sur un recueil d'expertise relatif au fonctionnement de la compagnie. Celui-ci, réalisé à travers des entretiens menés tant avec la direction que le service sécurité des vols et des équipages a débouché sur un choix de variables pour les analyses statistiques (plage horaire, type de service...) et des conditions opérationnelles ayant un impact sur la fatigue (météo, durée des escales...).
- ✓ La quatrième étape, plus technique s'est concentrée sur la définition avec chaque compagnie des modalités de l'extraction des données de leur outil d'analyse des vols pour le traitement par le consortium. Des solutions techniques adaptées à chaque compagnie ont été testées, en gérant notamment le problème de la désidentification des données. Toutefois, un seul accord de confidentialité entre une compagnie et le consortium a pu être établi et a permis le transfert et le traitement effectif des données. Cela n'a pas été possible avec les deux autres compagnies, les accords d'entreprises ne le permettant pas. Dans la mesure où les accords gérant l'ASV à l'intérieur des compagnies impliquent l'anonymat, l'utilisation des ASV dans le cadre d'un SGS-RF pourrait nécessiter un aménagement des accords d'entreprise existants ainsi que de la réglementation.

4.3.1.1 Méthodologie générale

L'approche proposée met en jeu une méthodologie pour objectiver des corrélations possibles entre des états de fatigue et l'occurrence d'évènements issus de l'ASV. Le point central de cette méthodologie est l'utilisation combinée d'évaluation d'un risque

fatigue liée aux plannings des personnels navigants avec les données ASV. En effet, l'identification d'évènements de l'ASV sensibles à l'état de fatigue de l'équipage ne peut être réalisée au départ qu'à partir d'une estimation du risque fatigue de l'équipage obtenue à partir d'une analyse chronobiologique (cf chapitre 4.1).

La méthodologie développée est caractérisée par les étapes suivantes :

1. Analyse des plannings réalisés au sein de la compagnie avec les outils dédiés d'estimation du risque de fatigue de chaque membre de l'équipage, CdB et OPL, puis classification des vols selon des niveaux de risque fatigue de l'équipage. La sortie de cette étape est constituée de groupes de vol pour lesquels le risque fatigue des équipages est équivalent d'un point de vue chronobiologique.
2. Extraction, dans la base de données issue de l'enregistrement des paramètres de vol, des événements qui ont trait à chacun des groupes identifiés dans la phase précédente.
3. Analyse statistique des événements des différents groupes de vol afin d'identifier les évènements sensibles au risque de fatigue des équipages.

Les choix réalisés pour la mise en œuvre de ces trois étapes dans le cadre du projet STARE sont décrits dans les paragraphes suivants.

4.3.1.2 Méthodologie de classification des niveaux de fatigue de l'équipage

Les données ASV disponibles pour cette étude ne permettaient pas d'identifier le PF et le PNF à partir des données de vol. Il a donc été retenu de caractériser pour chaque vol le risque de fatigue de l'équipage comme marqueur global. Pour cela, pour chaque vol, le niveau de risque de fatigue a été évalué à partir de l'application de critères fatigue dans les plannings individuels des pilotes, commandants de bord (CDB) et officiers pilotes de ligne (OPL).

Le choix a été fait de décrire l'état probable de chaque membre d'équipage par une variable à 3 états :

- F+ : risque de fatigue important pour le pilote pendant ce vol
- 0 : risque de fatigue modéré pour le pilote pendant ce vol
- F- : risque de fatigue faible pour le pilote pendant ce vol

Le risque de fatigue de l'équipage a alors été évalué comme une combinaison des risques de fatigue individuels des deux membres d'équipages. Six classes de fatigue de l'équipage ont ainsi été créées :

1. Niveau +2 : les deux membres d'équipage ont un risque fatigue de niveau F+ pour ce vol
2. Niveau +1 : un des membres d'équipage a un risque fatigue de niveau F+ et l'autre de niveau 0

3. Niveau 0 : les deux membres d'équipage ont un risque fatigue de niveau 0
4. Niveau -1 : un des membres d'équipage a un risque fatigue de niveau F- et l'autre de niveau 0
5. Niveau -2 : les deux membres d'équipage ont un risque fatigue de niveau F- pour ce vol
6. Niveau 3 : un des membres d'équipage a un risque fatigue de niveau F+ et l'autre de niveau F-

Alors que les cinq premières classes présentées ci-dessus décrivent un équipage ayant un risque fatigue de plus en plus faible, la sixième classe (Niveau 3) est très particulière car elle correspond à un équipage composé de risques de fatigue opposés mais qui ne peut pas être assimilé au niveau 0.

Il est à noter que selon les données disponibles il pourrait être pertinent de distinguer au sein du niveau +1 les vols au cours desquels le PF présente un risque de fatigue F+ de ceux au cours desquels le PNF présente un risque F+.

4.3.1.3 Méthodologie de mise en correspondance des données

Le but de la deuxième étape est de rassembler les informations provenant de l'étape 1 (niveau de fatigue de l'équipage) avec les événements provenant du système d'analyse systématique des vols de la compagnie aérienne.

Dans le cas de l'étude STARE, il n'y avait pas de possibilité de faire un lien direct entre les bases de données au sein de la compagnie. En effet, les outils utilisés pour la gestion des plannings et ceux du bureau sécurité des vols ne reposent pas sur une base de données commune ; ce sont des logiciels qui ont été développés séparément et l'utilité de les interconnecter n'a pas été ressentie jusqu'à présent. Une démarche de mise en correspondance des données adaptée au format et au contenu des données transmises par la compagnie a été conçue et mise en œuvre. Elle respecte l'anonymat des personnels selon le protocole défini au préalable de la récupération des données ASV de la compagnie. Le processus de traitement des données réalisé est présenté sur la figure n°29.

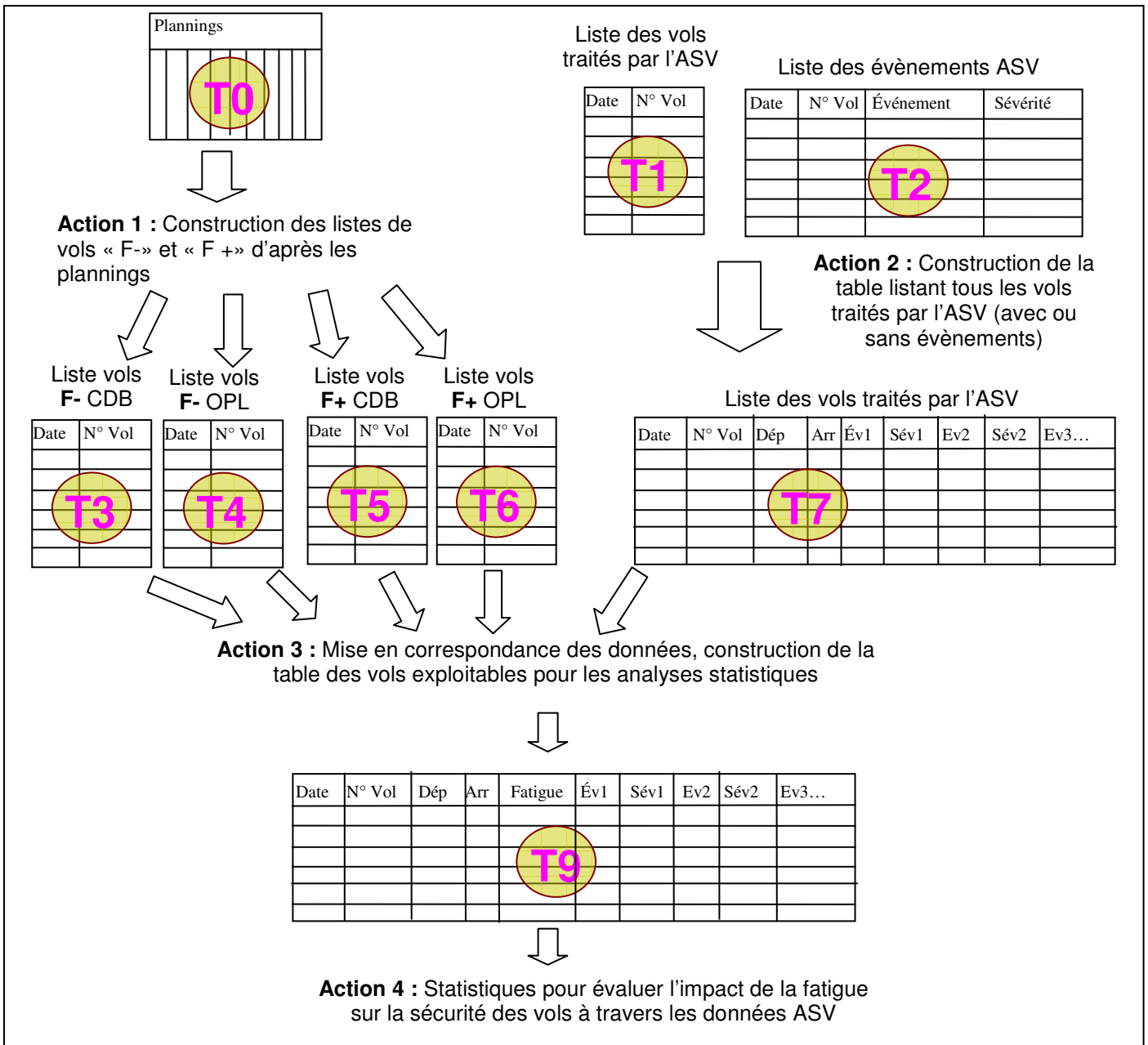


Figure n°29 – Processus de mise en correspondance des données

Les remarques suivantes peuvent être faites pour cette étape de mise en correspondance des données :

- Lors de la construction de la table T7 il est nécessaire de savoir distinguer les vols sans événement ASV des vols qui n'ont pas été traités par le système d'ASV de la compagnie. Les vols n'ayant pas été traités par l'outil d'ASV ne devront pas être pris en compte dans les étapes suivantes du processus d'analyse des données. D'où la nécessité dans le cadre de l'étude STARE d'extraire du système d'ASV les deux tables T1 et T2 et de reconstruire pour chaque vol la liste de ces évènements ASV avec leur niveau de sévérité.

- Lors de la construction de la table T7, il a été choisi de ne pas prendre en compte les vols ayant un contexte particulier : vols d'instruction, vols de maniabilité... Il est donc nécessaire de prévoir des moyens d'identifier ces types de vol (N° de vol spécifique, statut du CDB...).
- Au regard du type d'avion retenu pour l'étude, la mise en correspondance des données issues des tables T3, T4, T5, T6 et T7 reposait sur la date, le numéro de vol et l'heure de départ du vol. Le numéro de vol est entré manuellement par l'équipage sur le type d'appareil retenu. Certains vols n'ont pas pu être mis en correspondance en raison de l'absence de saisie du numéro de vol par l'équipage. Ces vols sont assez nombreux, ce qui explique qu'un volume non négligeable de données est exclu de l'analyse statistique. Il est donc important, au sein de la compagnie de veiller à mettre en place un système de mise en correspondance des données qui soit à la fois pratique et efficace. Sur certains aéronefs, ces données sont saisies automatiquement à partir du plan de vol, ce qui élimine cette problématique.

4.3.1.4 Méthodologie d'analyse statistique

La méthode d'analyse statistique a été utilisée sur les données chiffrées issues de l'analyse systématique des paramètres de vols obtenue sur l'ensemble des vols au cours d'une période donnée d'un an. Elle comporte cinq étapes :

- 1^{ère} étape : collecte des données, soit de manière exhaustive, soit par sondage.
- 2^{ème} étape : tri et organisation des données en tableaux, diagrammes, etc.
- 3^{ème} étape : analyse descriptive des données au travers des mesures de tendance centrale et de dispersion.
- 4^{ème} étape : choix des variables, choix et réalisation des tests statistiques.
- 5^{ème} étape : interprétation des résultats.

Les outils statistiques disponibles permettent d'obtenir trois types distincts de résultats :

- caractériser un corpus de données avec des mesures comme la moyenne ou la variance (estimateurs, intervalles de confiance) selon des analyses de statistiques descriptives,
- comparer plusieurs séries de données, à savoir si elles sont issues (ou non) de la même distribution (i.e., tests d'hypothèses) à l'aide d'outils de statistiques inférentielles,
- déterminer si deux grandeurs sont liées et de quelle façon (corrélation, ajustement analytique) également au travers d'analyses statistiques inférentielles.

Il est donc primordial dans le cadre d'une étude statistique de définir clairement les questions auxquelles on veut répondre afin de choisir les tests adaptés. Les résultats des tests, associés à un degré de probabilité, permettent d'interpréter les données.

Dans le cadre du projet STARE, la question posée est : existe-t-il un lien entre la fatigue de l'équipage et l'occurrence d'évènements ASV ?

Cette question peut se décliner en plusieurs sous questions qui guident les choix des tests à réaliser :

- Y a-t-il un lien entre niveau de fatigue de l'équipage et nombre d'évènements ASV ?
- Est-ce que l'apparition de certains évènements ASV est liée au niveau de fatigue de l'équipage ?
- Est-ce que l'apparition de certains évènements ASV d'une sévérité donnée est liée au niveau de fatigue de l'équipage ?
- Est-ce que certaines rotations sont sensibles à ces mêmes évènements ?

Pour toutes ces questions, le point central est une comparaison de plusieurs séries de données et les analyses sont donc principalement réalisées à partir de test d'hypothèses.

Les analyses réalisées ont donc été les suivantes :

1. Statistiques descriptives pour permettre de connaître le corpus de données ; cette partie ne répond pas aux questions posées mais est importante pour identifier les caractéristiques des données étudiées : les différents groupes sont ils de tailles très diverses ? Certains types d'évènements sont ils quasi-inexistants ? Ces informations sont essentielles pour vérifier la cohérence des données utilisées. Elles sont aussi utiles pour orienter et guider l'analyse des résultats de la deuxième partie. Il est important de normaliser la présentation des résultats. Pour cette étude nous avons choisi de tout rapporter à 1000 vols.
2. Analyses inférentielles pour étudier l'influence d'un facteur sur l'occurrence des évènements. Pour chaque variable (niveau de fatigue des équipages, type de rotation...) permettant de répondre à une des questions posées, l'analyse se déroule en deux étapes : (1) on recherche un effet global (ANOVA de Kruskal – Wallis par rangs), (2) pour les événements pour lesquels l'ANOVA révèle un effet significatif, on réalise un test U de Mann – Whitney afin de localiser entre quels niveaux de la variable l'(les) effet(s) significatif(s) se situ(ent). Pour chaque variable, il y a donc un ensemble de plusieurs tests. Il est important d'unifier la manière dont les résultats sont présentés afin de pouvoir construire une vue globale de l'influence de la variable choisie sur les échantillons choisis.

4.3.2 Données traitées

Les données traitées proviennent des vols qui se sont déroulés sur une année (1er décembre 2007 au 30 novembre 2008) au sein de la compagnie aérienne, sur le type d'avion retenu. Ce corpus de données est constitué de 67185 vols issues des plannings et 60446 vols issues de l'ASV. Après mise en correspondance (hors les vols d'instructions, les vols spéciaux, et les vols présentant des problèmes d'enregistrement ou de récupération des paramètres) le nombre de vols sur lesquels ont porté nos analyses est de 46974. Le traitement des données issues de cet ensemble de vols conservés, concerne 69635 événements répartis en trois niveaux de sévérité, de la sévérité 1 qui est la moins critique à la sévérité 3, la plus critique. Ainsi, le corpus de données est réparti sur 19 types d'événements, 66451 de sévérité 1, 2846 de sévérité 2, et 338 de sévérité 3.

4.3.3 Résultats statistiques

Les résultats statistiques sont successivement présentés en deux étapes. La première concerne les résultats statistiques permettant de décrire le corpus de données. La seconde consiste en l'application de modèles mathématiques basés sur des théories probabilistes offrant la possibilité de dégager, à partir d'un échantillon de données, des tendances applicables à l'ensemble d'une population.

4.3.3.1 Statistiques descriptives

Un premier traitement a consisté à décrire la répartition des événements par plage horaire (Figure n°30). Cette répartition montre que le nombre d'événements pour 1000 vols (tout types d'événements et toutes sévérités confondus) n'évolue pas significativement au cours de la journée [$F(4, 72) = 0,52$; $p=0,99$].

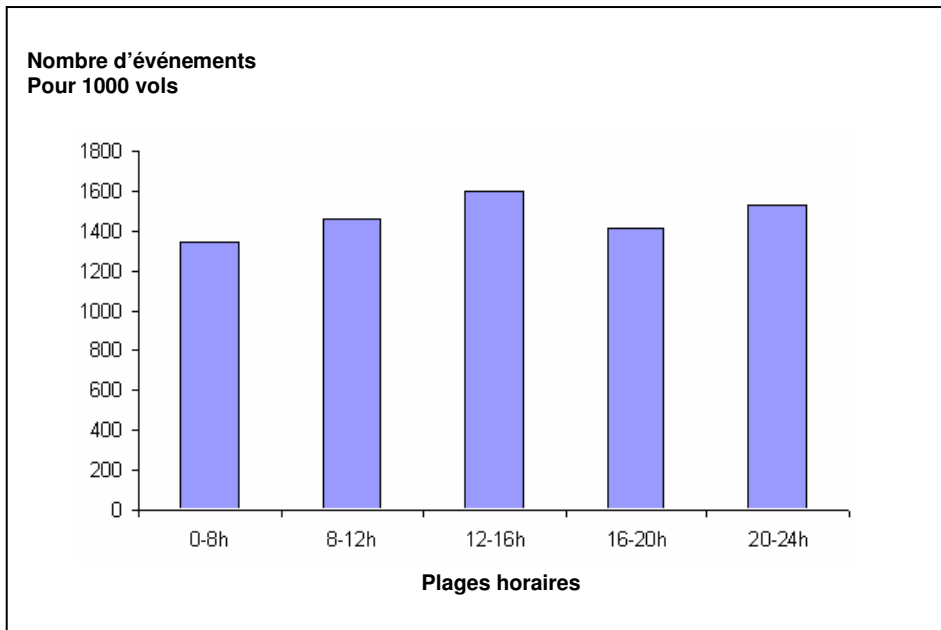


Figure n°30 - Répartition des événements pour 1000 vols par plage horaire

En revanche, lorsque l'on regarde cette répartition pour chaque type d'événement, on s'aperçoit que, pour certains d'entre eux, il y a de fortes variations d'occurrences entre les plages horaires (Figure n°31). Ceci conforte la démarche proposée qui repose entre autre sur un traitement individualisé des types d'évènements. Un des enjeux des analyses statistiques inférentielles sera d'identifier les évènements pour lesquels la variable étudiée a un effet significatif. Sur notre exemple, quels évènements ont une fréquence d'occurrence significativement influencée par la plage horaire ? Ceci permettra de dégager des indicateurs sensibles à l'effet du niveau de fatigue sur la sécurité des vols.

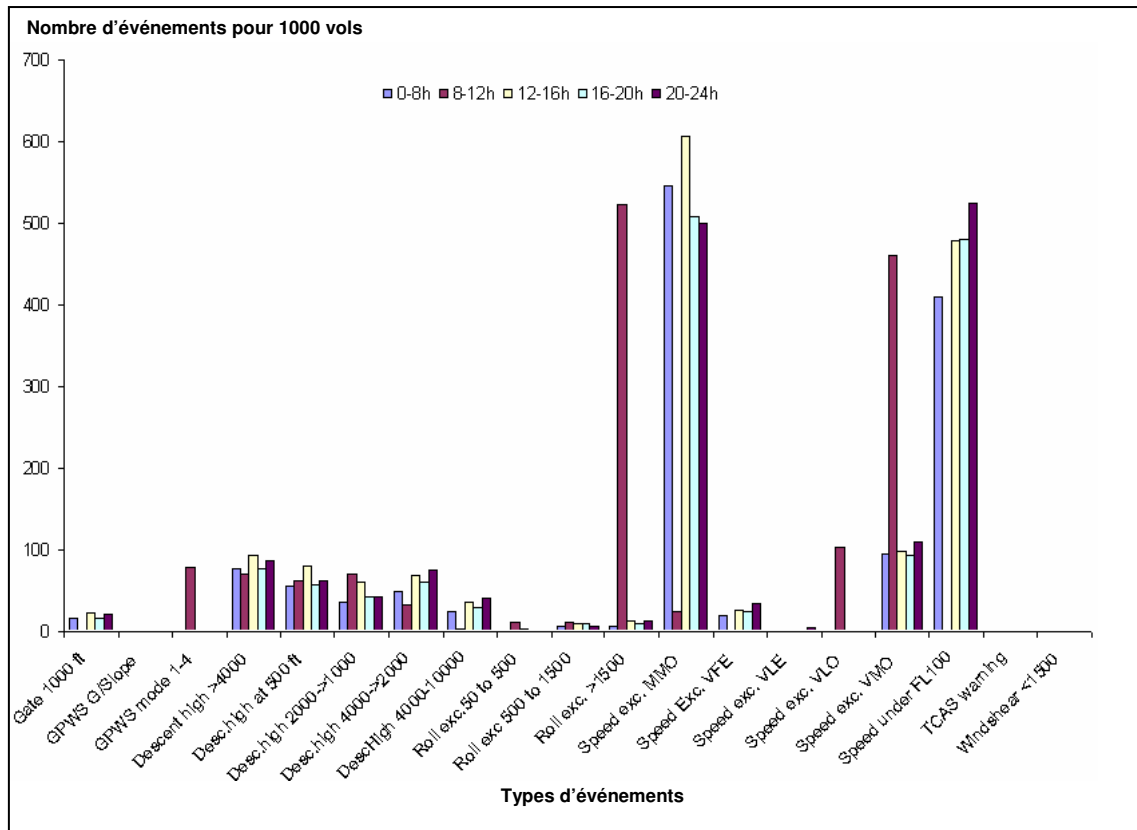


Figure n°31 - Répartition des événements pour 1000 vols par type d'événement et par plage horaire

La répartition des vols par niveaux de fatigue de l'équipage est présentée sur la Figure n°32. Ce graphique permet d'estimer visuellement le poids de chaque niveau de fatigue dans le corpus de données. En particulier, on note que le niveau +3 (correspondant aux vols où un des membres d'équipage a un risque fatigue de niveau F+ et l'autre de niveau F-) n'est constituée que d'une série de 30 observations ce qui est insuffisant pour envisager l'utilisation de tests statistiques inférentiels. Nous avons choisi d'exclure ce groupe de l'analyse.

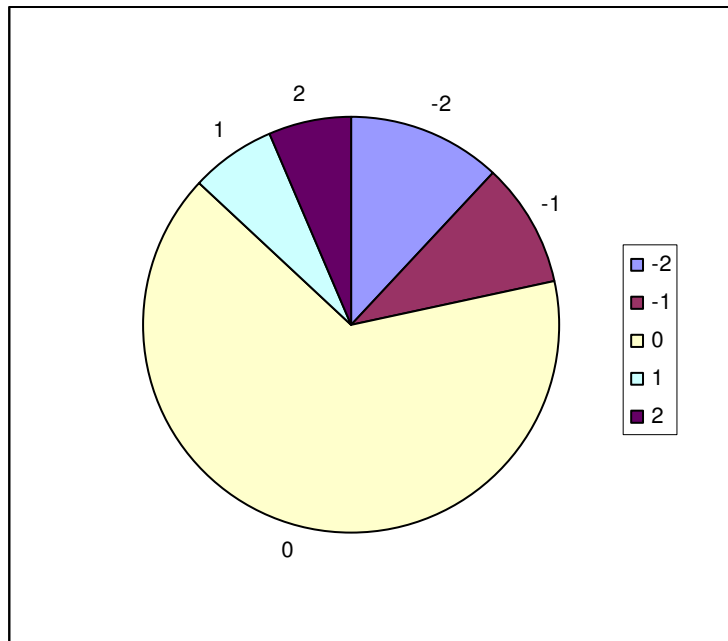


Figure n°32 – Répartition des vols par niveau de risque fatigue de l'équipage

Par contre, les autres groupes (-2, -1, 0, +1 et +2) contiennent suffisamment de vols pour pouvoir être pris en compte dans l'étude statistique, ce qui confirme entre autre qu'il est possible pour ces données de séparer les niveaux -2 et -1, +1 et +2.

L'étape suivante analyse la répartition des évènements ASV dans ces différents groupes (Figure n°33). On note que le nombre d'évènements pour 1000 vols reste relativement stable d'un groupe de fatigue à l'autre, avec même une tendance à présenter globalement un peu moins d'évènements quand les équipages présentent un risque de fatigue plus élevé. Un tel diagramme ne confirme pas l'hypothèse que : « la fatigue génère des déviations », du moins pour les types d'évènements recherchés par l'outil d'ASV de la compagnie aérienne.

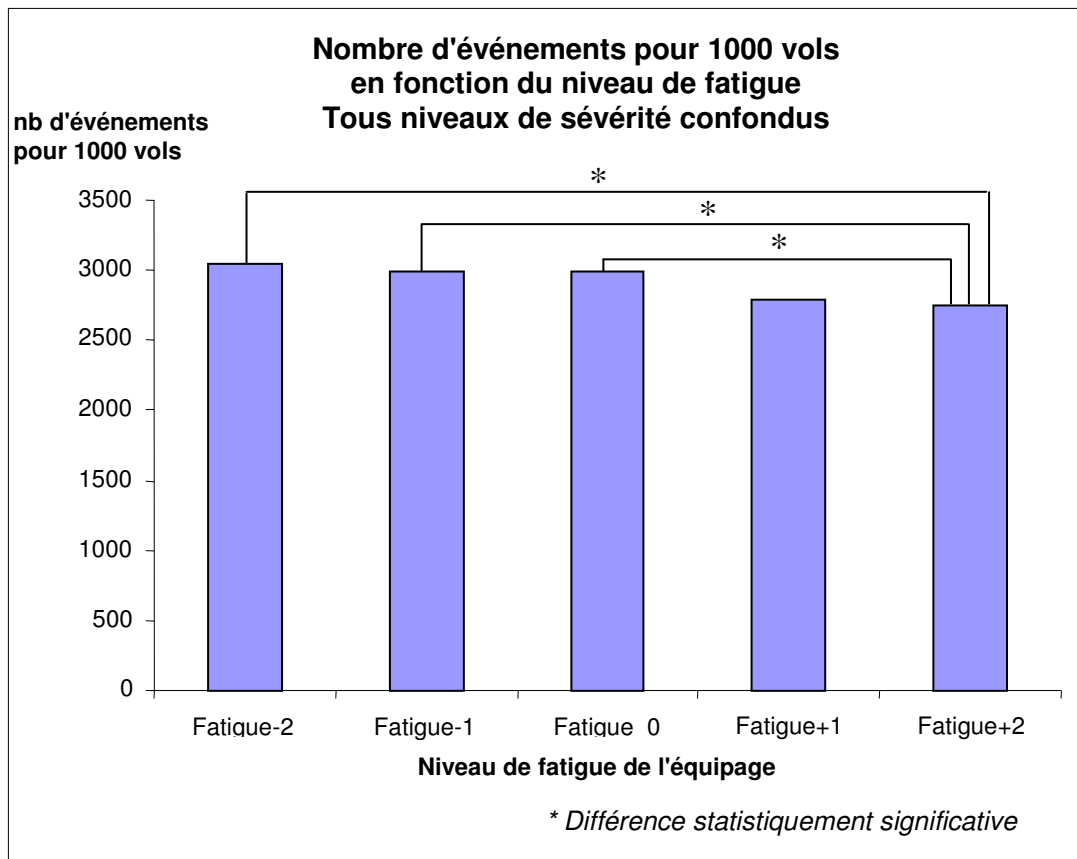


Figure n°33 - Nombre d'événements pour 1000 vols en fonction du niveau de fatigue des équipages.

Les évènements ayant trois degrés de sévérité, des diagrammes similaires sont construits par sévérité afin d'avoir une meilleure compréhension du corpus de données disponible. Nous présentons ici uniquement le nombre d'événements de sévérité 3 pour 1000 vols en fonction du niveau de fatigue des équipages (Figure n°34). Ce graphique montre que si un niveau de fatigue élevé n'implique pas nécessairement plus d'évènements toutes sévérités confondus, il semble en revanche impliquer un nombre plus élevé d'évènements de sévérité 3 [F(4, 80)=0,48 ; p=0,75].

Mais il convient de rester prudent, car cette description du corpus de données reste très globale. Seules des statistiques inférentielles par événement permettront d'identifier s'il existe des différences significatives induites par les niveaux de fatigue.

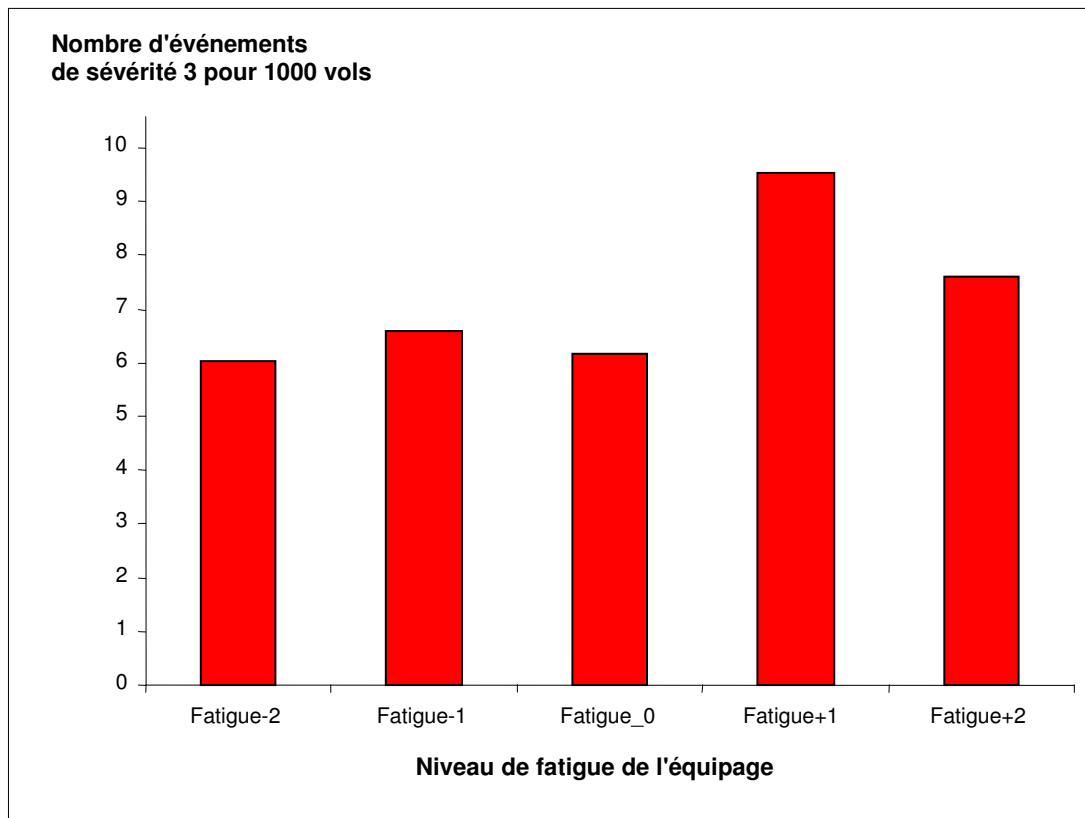


Figure n°34 - Nombre d'événements de sévérité 3 pour 1000 vols en fonction du niveau de fatigue des équipages

Par ailleurs, les diagrammes précédents ont été réalisés en tenant compte de tous les événements ASV. Il est important d'avoir une idée du « poids » de chaque type d'évènement. Pour cela, la figure 35 présente le nombre d'événements en sévérités cumulées réparties selon les différents types d'événements (pour 1000 vols). Cette répartition des données permet dès lors de formuler deux remarques qui seront prises en compte dans les analyses statistiques inférentielles :

- Tout d'abord, on note que les fréquences d'apparition des événements sont très variées. Il faut donc se méfier de toute approche « globale » car le résultat serait quasiment donné par les deux types d'événements prépondérants (MMO, FL100). Par conséquent, il est préférable d'utiliser des analyses par type d'événement.
- Ensuite, certains types d'événements sont très rares (globalement ou pour une sévérité donnée). Bien que l'outil d'analyse statistique utilisé est pertinent pour ce type de données, il faudra néanmoins porter une attention particulière à ces résultats car on est peut être à la limite des possibilités de l'outil statistique (robustesse...).

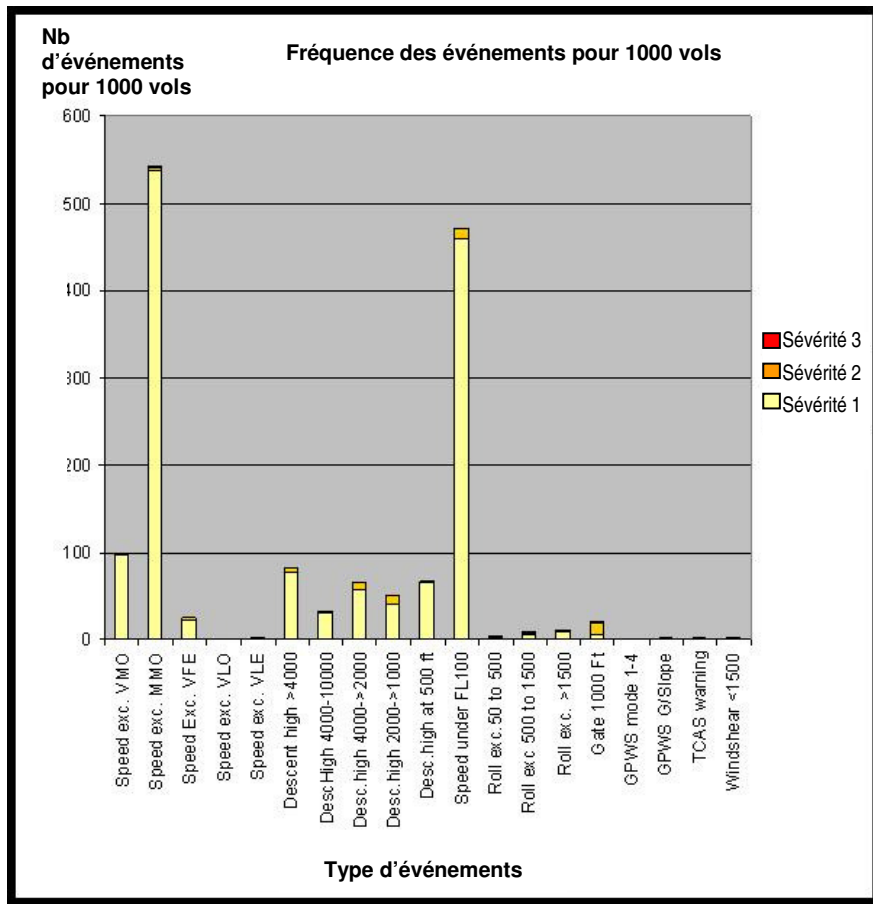
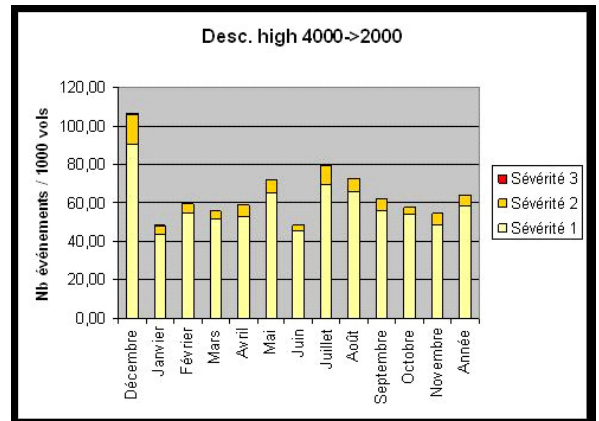
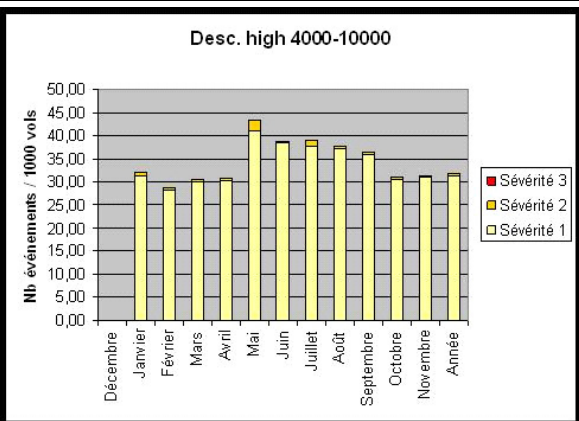
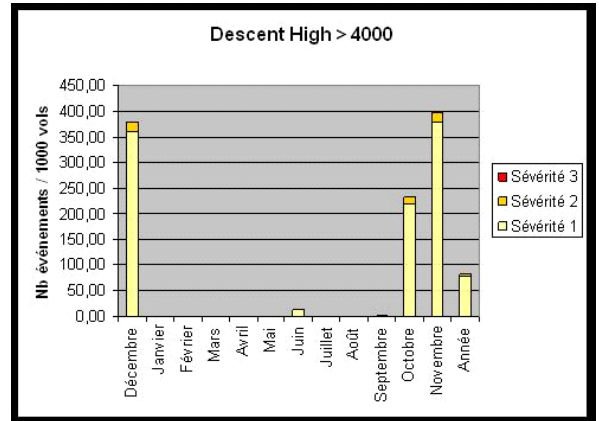
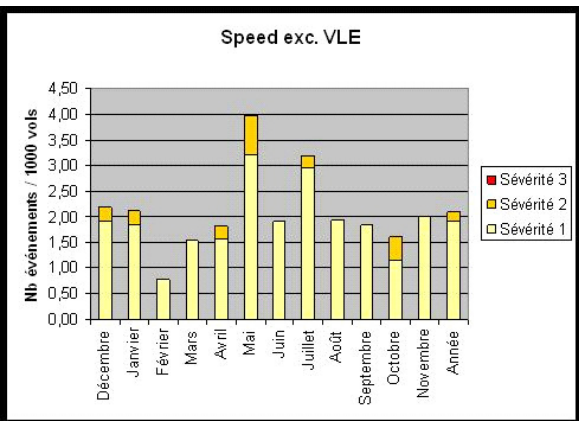
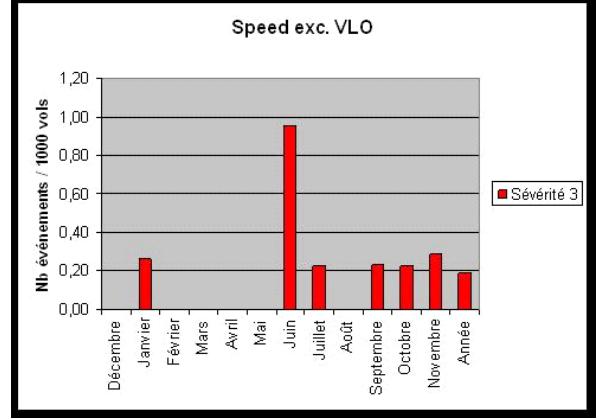
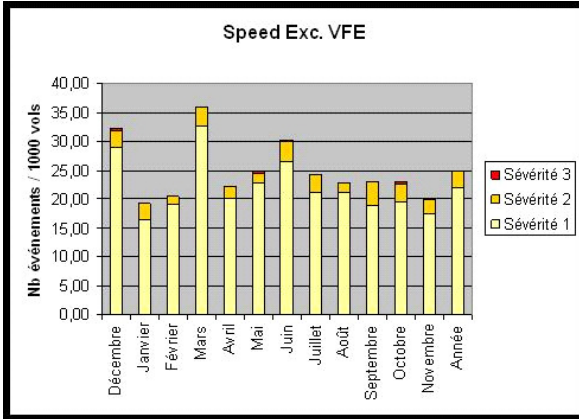
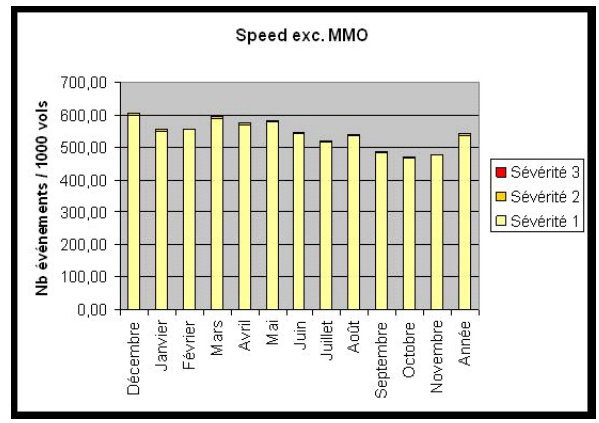
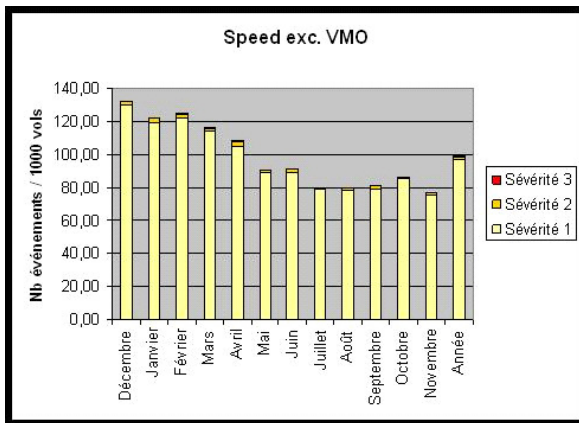
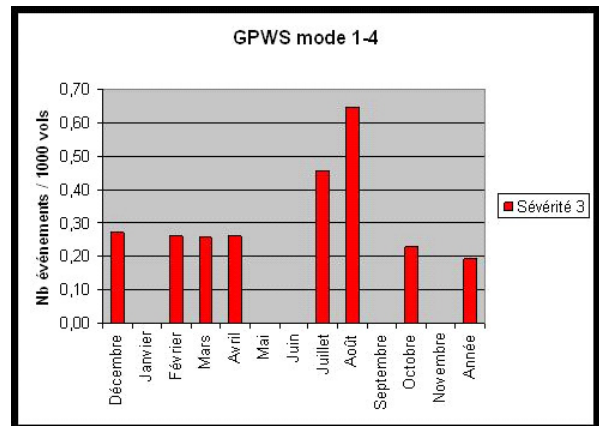
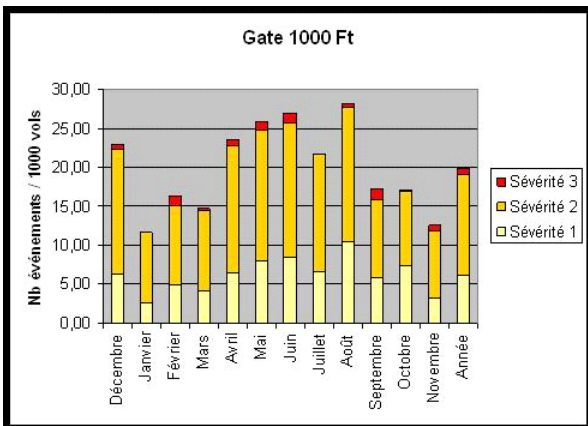
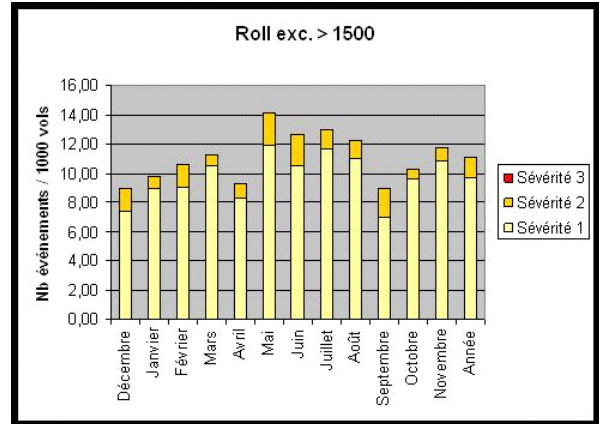
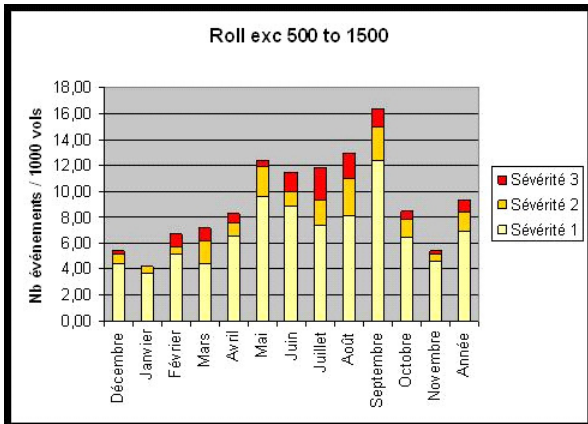
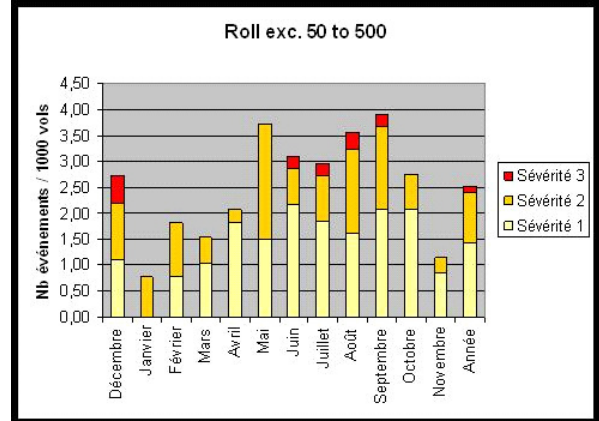
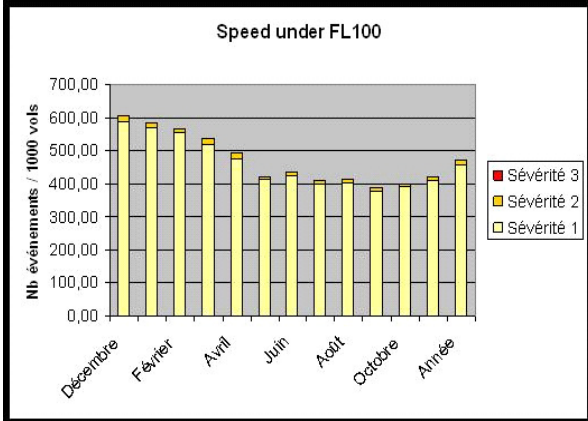
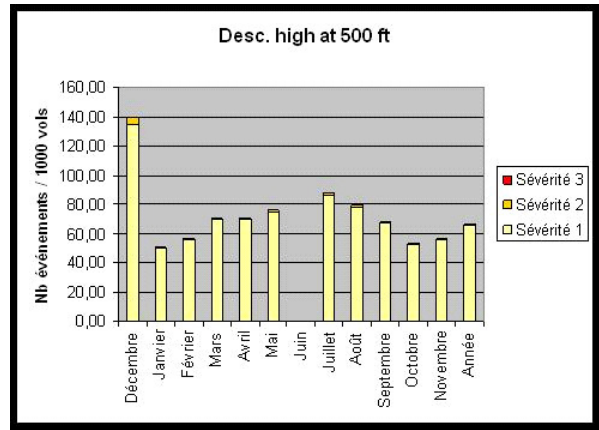
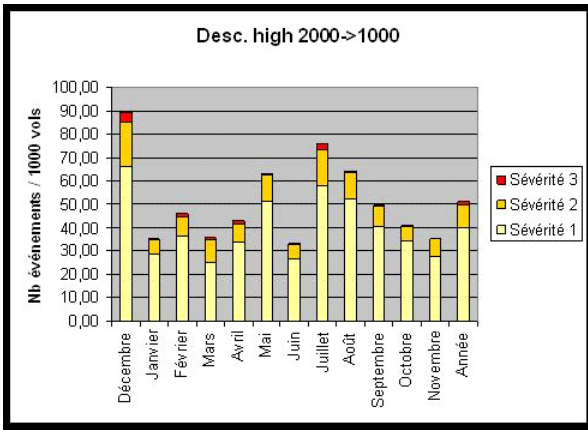


Figure n°35 - Fréquence des événements (présentés en sévérité cumulée) pour 1000 vols répartis dans les différents types d'événements

Ce travail est important pour bien appréhender la pertinence des statistiques inférentielles qui vont être réalisées. Par exemple, dans le traitement des données STARE, la fréquence d'apparition de chaque évènement (pour 1000 vols) a été tracée mois par mois (voir Figure n°36). Cela a permis d'identifier des discontinuités sur certains évènements, caractérisant que la définition de l'évènement avait été modifiée pendant la période de recueil des données. Des traitements spécifiques (période par période...) sont alors nécessaires. La bonne connaissance du corpus de données est le premier gage de validité des résultats.





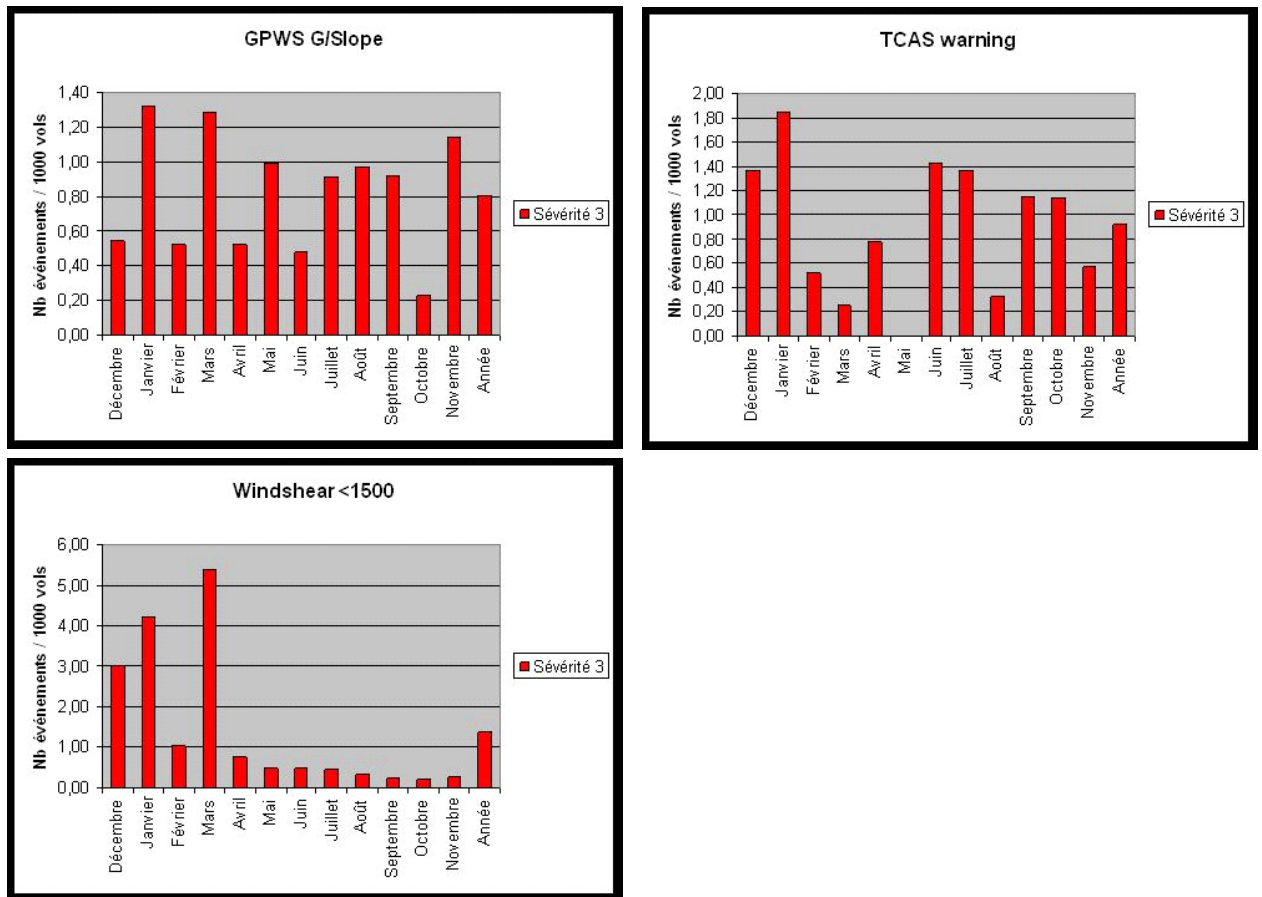


Figure n°36 - Fréquence d'apparition de chaque évènement (pour 1000 vols) tracée en sévérité cumulée mois par mois au cours d'une année

Analyses statistiques inférentielles

Ce type d'analyse permet d'évaluer l'effet d'une ou plusieurs variables sur une ou plusieurs séries d'observations. Les variables retenues pour les analyses statistiques sont les suivantes :

- Le niveau de fatigue des équipages (-2, -1, 0, +1, +2) issu des catégories de vols F- et F+,
- Le rang du vol dans la journée quelle que soit l'heure,
- La plage horaire (avant 8h, 8h – 12h, 12h – 16h, 16h – 20h, après 20h),
- Le type de service (matin, matin après nuit courte, matin après une deuxième nuit courte, matin successif, service fractionné, journée, après-midi, après-midi après matin nuit courte, soirée, nuit).

Pour chaque variable, l'analyse se déroule en deux étapes :

- Recherche d'un effet global (ANOVA de Kruskal – Wallis par rangs),
- Pour les événements pour lesquels l'ANOVA révèle un effet significatif, on réalise un test U de Mann – Whitney afin de localiser entre quels niveaux de la variable l'(les) effet(s) significatif(s) se situ(ent).

4.3.3.2 Effet du niveau de fatigue des équipages sur l'occurrence des événements et leur sévérité

L'analyse ANOVA Kruskal – Wallis révèle un effet significatif du risque de fatigue des équipages sur 8 catégories d'événements toutes sévérités confondues, 7 en sévérité 1, aucune en sévérité 2, et 3 en sévérité 3 (voir Tableau 24).

Catégorie d'événement	Toutes	Sévérité 1	Sévérité 2	Sévérité 3
Descent high > 4000 ft	X	X		
Descent high at 500 ft	X	X		
Descent high 2000 – 1000 ft	X	X		
Descent high 4000 – 10000 ft	X	X		
Roll exc. 500 to 1500 ft				X
Speed under FL 100	X	X		
Speed exc. MMO	X	X	X	
Speed exc. VMO	X	X		X
Speed exc. VFE				X
Gate 1000 ft	X			

Tableau 24 - catégories d'événements influencées par la variable « niveau de fatigue des équipages » toutes sévérités confondues et par sévérité (de 1 à 3). Les événements significativement influencés ($p < 0,05$) sont identifiés par une croix.

Ceci montre que certains événements ASV sont significativement associés au risque de fatigue. Nous avons volontairement choisi pour cette étude de ne pas trier a priori les événements pouvant être sensibles à la fatigue mais de réaliser les traitements statistiques sur tous les types d'évènement afin de vérifier la cohérence des résultats. Les événements que les résultats statistiques identifient comme étant effectivement sensibles au niveau de fatigue de l'équipage sont cohérents avec l'expertise opérationnelle réalisée lors de l'étude de l'ensemble des évènements avec le service sécurité des vols de la compagnie. Ces résultats ont été présentés et discutés avec des experts de la compagnie aérienne.

Cette analyse globale permet donc de sélectionner les évènements auxquels il va falloir s'intéresser, mais elle n'indique pas comment le risque de fatigue de l'équipage influe sur la fréquence d'apparition de l'évènement. Pour cela, il est nécessaire de réaliser pour chaque évènement des comparaisons entre toutes les combinaisons de risque de fatigue ((+2, -2), (+2,-1), (+2,0)...), soit 10 tests post-hoc U de Mann – Whitney par type d'évènement. Chaque test indique si, pour l'évènement choisi, il y a une différence significative d'apparition de l'évènement entre les deux niveaux de fatigue considérés, et si oui, quel est le niveau qui a significativement le plus d'évènements.

Les résultats de l'analyse post-hoc U de Mann – Whitney sont présentés dans les tableaux 25A, 25B, 25C, 25D. Chaque tableau présente en colonne la comparaison deux à deux des différents niveaux de fatigue et en ligne les catégories d'événements significativement influencés par le niveau de fatigue des équipages toutes sévérités confondues et par sévérité. Les signes +/- en rouge sont affichés lorsque la comparaison présente une différence significative et donnent le sens de la différence.

Par exemple, pour le tableau 25B (cf. ligne grisée), on note en 2^{ème} colonne qu'il y a significativement plus d'occurrences de l'événement « Descent High > 4000ft » pour les équipages caractérisés par un risque de fatigue -2 (risque de fatigue faible pour les deux membres d'équipage) que pour les équipages dont le risque de fatigue est +2 (risque de fatigue important pour les deux membres d'équipage). La 5^{ème} colonne indique elle qu'il y a significativement moins d'événements « Descent High > 4000ft » pour les équipages caractérisés par un risque de fatigue -2 que pour les équipages dont le risque de fatigue est -1 (risque de fatigue faible pour l'un des membres d'équipage, modéré pour l'autre).

A	
---	--

B	
---	--

C	
---	--

D	
---	--

Variables	-2+2	-2+1	-2 0	-2-1	-1+2	-1+1	-1 0	0+1	0+2	+1+2
Gate 1000 ft	+	+	+							
Descent high > 4000 ft	+			-	+				+	+
Descent high 2000 – 1000 ft	+	+			+	+		+		
Descent high 4000 – 10000 ft	+				+	+		+	+	
Speed exc. MMO	+	+	+	+	+			+	+	
Speed exc. VMO				+	-	-	-			
Speed under FL 100	-	+			+	+		+	+	

Variables	-2+2	-2+1	-2 0	-2-1	-1+2	-1+1	-1 0	0+1	0+2	+1+2
Descent high > 4000 ft	+			-	+				+	+
Descent high at 500 ft					+	+				
Descent high 2000 – 1000 ft	+	+			+	+		+		
Descent high 4000 – 10000 ft	+				+	+		+	+	
Speed exc. MMO	+	+	+	+	+	+		+	+	
Speed exc. VMO				+	-	-	-			
Speed under FL 100	+	+			+	+		+	+	

Variables	-2+2	-2+1	-2 0	-2-1	-1+2	-1+1	-1 0	0+1	0+2	+1+2
Speed exc. MMO			+					+	-	

Variables	-2+2	-2+1	-2 0	-2-1	-1+2	-1+1	-1 0	0+1	0+2	+1+2
Roll exc. 500 to 1500 ft	-	-							-	
Speed exc. VFE			+						-	
Speed exc. VMO		-							-	

Tableau 25 - Résultats de l'analyse post-hoc U de Mann – Whitney. Chaque tableau présente en colonne la comparaison deux à deux des différents niveaux de fatigue et en ligne les catégories d'événements significativement influencés par le niveau de fatigue des équipages toutes sévérités confondues (A), pour la sévérité 1 (B), pour la sévérité 2 (C), et pour la sévérité 3 (D).

Le tableau 25A liste les événements, toutes sévérités considérées, dont l'occurrence varie en fonction du risque de fatigue de l'équipage. La grande majorité de signes « + » montre que, de manière générale, plus l'équipage est caractérisé par un risque de fatigue faible, plus il y a d'occurrences de tels événements.

Le tableau 25B indique que, pour les événements de sévérité 1 listés, plus le risque de fatigue de l'équipage est faible, plus il y a d'occurrences de ces événements.

Le tableau 25C indique, dans une moindre mesure (un seul événement affecté) la même tendance.

Le tableau 25D liste les événements de sévérité 3 dont l'occurrence est affectée par le risque de fatigue de l'équipage. La grande majorité de signes « - » montre que plus l'équipage est caractérisé par un risque de fatigue faible, moins il y a d'occurrences de tels événements.

4.3.3.3 Effet du rang du vol dans la journée sur l'occurrence des événements et leur sévérité

L'analyse ANOVA Kruskal – Wallis révèle un effet significatif du rang du vol dans la journée sur 8 catégories d'événements toutes sévérités confondues, 9 en sévérité 1, et 2 en sévérité 2 (voir Tableau 26).

	Toutes sévérités	Sévérité 1	Sévérité 2	Sévérité 3
Descent high > 4000 ft	X	X	X	
Descent high at 500 ft	X	X		
Descent high 4000 → 2000 ft	X	X		
Descent high 4000 – 10000 ft	X	X		
Roll exc. 500 to 1500 ft		X	X	
Speed under FL 100	X	X		
Speed exc. MMO	X	X		
Speed exc. VMO	X	X		
Speed exc. VLE	X	X		

Tableau 26 - catégories d'événements influencées par la variable « rang du vol dans la journée » toutes sévérités confondues et par sévérité (de 1 à 3)

A l'instar du résultat précédent, le nombre d'occurrences d'événements diminue avec l'augmentation du rang du vol dans la journée. Comme le montrent les tableaux 27A, 27B, et 27C, ce résultat est vérifié toutes sévérités confondues et pour tous les événements de sévérités 1 et 2 à l'exception notable de « speed exc MMO ». Cependant, il semble que la variable « rang du vol dans la journée » soit moins sensible que la variable « niveau de fatigue de l'équipage » puisque aucun effet sur les événements de sévérité 3 n'est détecté.

Variables	1 5	1 4	1 3	1 2	2 5	2 4	2 3	3 5	3 4	4 5
Descent high > 4000	+			+		-	-			+
Descent high at 500 ft	+	-				-	-	+	-	+
Descent high 4000->2000	-	-			-	-		-	-	
Descent high 4000->10000	-			+	-	-		-	-	
Speed exc MMO	+	+			+		-	+	+	
Speed exc VLE						-				
Speed exc VMO	-	-			-	-		-		
Speed under FL 100	-	-			-	-	-	-	-	

A

Variables	1 5	1 4	1 3	1 2	2 5	2 4	2 3	3 5	3 4	4 5
Descent high > 4000	+			+		-				+
Descent high at 500 ft		-				-	-	+	-	+
Descent high 4000->2000	-	-			-	-		-	-	
Descent high 4000-10000	-	-			-	-		-	-	
Roll exc 500 to 1500 ft		-				-				
Speed exc MMO	+	+		+	+		-	+	+	
Speed exc VLE		-				-			-	
Speed exc VMO	-	-			-	-		-		
Speed under FL 100	-	-		+	-	-	-	-	-	

B

Variables	1 5	1 4	1 3	1 2	2 5	2 4	2 3	3 5	3 4	4 5
Descent high > 4000				+		-				
Roll exc 500 to 1500 ft				-						

C

Tableau 27 - Résultats de l'analyse post-hoc U de Mann – Whitney.
 Chaque tableau présente en colonne la comparaison deux à deux des différents rang de vol dans la journée et en ligne les catégories d'événements significativement influencés par le rang du vol toutes sévérités confondues (A), pour la sévérité 1 (B), et pour la sévérité 2 (C).

4.3.3.4 Effet de la plage horaire sur l'occurrence des événements et leur sévérité

L'analyse ANOVA Kruskal – Wallis révèle un effet significatif de la plage horaire sur 14 types d'événement toutes sévérités confondues, 12 en sévérité 1, et 7 en sévérité 2 (voir Tableau 28).

	Toutes sévérités	Sévérité 1	Sévérité 2	Sévérité 3
Gate 1000 ft	X	X	X	
Descent high > 4000 ft	X	X	X	
Descent high at 500 ft	X	X	X	
Descent high 2000 -> 1000	X	X		
Descent high 4000 -> 2000	X	X		
Descent high 4000 - 10000	X	X		
Roll exc 50 to 500ft	X		X	
Roll exc 500 to 1500ft	X	X	X	
Roll exc > 1500ft	X	X		
Speed exc MMO	X	X	X	
Speed exc VFE	X			
Speed exc VLE	X	X		
Speed exc VMO	X	X		
Speen under FL100	X	X	X	

Tableau 28 - catégories d'événements influencées par la variable « plage horaire » toutes sévérités confondues et par sévérité (de 1 à 3). Les événements significativement influencés ($p < 0,05$) sont identifiés par une croix.

En cohérence avec les deux résultats précédents, on note que le nombre d'occurrences d'événements pour 1000 vols est plus important dans la journée (entre 8h et 16h). Comme le montre les tableaux 29A, 29B, et 29C, ce résultat est vérifié toutes sévérités confondues et pour les événements de sévérités 1 et 2. Comme la variable précédente, cette variable est moins sensible que la variable « niveau de fatigue de l'équipage » puisque aucun effet sur les événements de sévérité 3 n'est détecté.

Variables	0-8/ 20-24	0-8/ 16-20	0-8/ 12-16	0-8/ 8-12	8-12/ 20-24	8-12/ 16-20	8-12/ 12-16	12-16/ 20-24	12-16/ 16-20	16-20/ 20-24
Gate 1000 ft	-		-	-		+			+	-
Descent high > 4000 ft	-		-				-		+	-
Descent high at 500 ft			-	-	+	+	-	+	+	
Descent high 2000 -> 1000		-	-	-	+	+		+	+	
Descent high 4000 -> 2000	-	-	-	-		+			+	-
Descent high 4000 – 10000	-		-	-	-				+	-
Roll exc 50 to 500 ft			-	-	+	+				
Roll exc 500 to 1500		-	-	-	+			+		
Roll exc > 1500 ft	-	-	-	-						
Speed exc MMO	+	+	-	+	+	+	-	+	+	
Speed exc VFE	-		-		-			-		-
Speed exc VLE	-				-			-		-
Speed exc VMO	-					+		-	+	-
Speed under FL 100	-	-	-	-	-	-	-	-		-

A

Variables	0-8/ 20-24	0-8/ 16-20	0-8/ 12-16	0-8/ 8-12	8-12/ 20-24	8-12/ 16-20	8-12/ 12-16	12-16/ 20-24	12-16/ 16-20	16-20/ 20-24
Descent high > 4000 ft	-		-				-		+	-
Descent high at 500 ft			-	-		+	-	+	+	
Descent high 2000 -> 1000			-	-	+	+		+	+	
Descent high 4000 -> 2000	-	-	-	-		+		-	+	-
Descent high 4000 – 10000	-		-	-	-				+	-
Roll exc 500 to 1500								+		+
Roll exc > 1500 ft	-	-	-	-						
Speed exc MMO	+	+	-	+	+	+	-	+	+	
Speed exc VFE	-		-		-			-		-
Speed exc VLE	-				-			-		-
Speed exc VMO	-			-		+		-		-
Speed under FL 100	-	-	-	-	-	-		-		-

B

Variables	0-8/ 20-24	0-8/ 16-20	0-8/ 12-16	0-8/ 8-12	8-12/ 20-24	8-12/ 16-20	8-12/ 12-16	12-16/ 20-24	12-16/ 16-20	16-20/ 20-24
Gate 1000 ft	-		-	-		+			+	
Descent high > 4000 ft									+	
Descent high at 500 ft				-		+				
Descent high 2000 -> 1000			-	-	+	+		+	+	
Roll exc 50 to 500 ft				-	+	+	+			
Roll exc 500 to 1500			-	-		+				
Speed exc MMO			-		+			+	+	
Speed under FL 100	-	-	-				-	+	+	

C

Tableau 29 - Résultats de l'analyse post-hoc U de Mann – Whitney.
 Chaque tableau présente en colonne la comparaison deux à deux des différentes plage horaire de la journée et en ligne les catégories d'événements significativement influencés par la plage horaire toutes sévérités confondues (A), pour la sévérité 1 (B), et pour la sévérité 2 (C).

4.3.3.5 Effet du type de service sur l'occurrence des événements et leur sévérité

L'analyse ANOVA Kruskal – Wallis révèle un effet significatif du type de service sur 11 types d'événements toutes sévérités confondues, 9 en sévérité 1, et 5 en sévérité 2 (voir Tableau 30).

	Toutes sévérités	Sévérité 1	Sévérité 2	Sévérité 3
Descent high > 4000 ft	X	X	X	
Descent high at 500 ft	X	X		
Descent high 2000 -> 1000	X	X		
Descent high 4000 -> 2000	X	X	X	
Descent high 4000 - 10000	X	X	X	
Roll exc 500 to 1500ft	X			
Speed exc MMO	X	X	X	
Speed exc VFE	X	X		
Speed exc VLE	X	X		
Speed exc VMO	X			
Speen under FL100	X	X	X	

Tableau 30 - catégories d'événements influencées par la variable « type de service » toutes sévérités confondues et par sévérité (de 1 à 3). Les événements significativement influencés ($p < 0,05$) sont identifiés par une croix.

L'analyse post-hoc U de Mann – Whitney n'a été effectuée que sur les événements toutes sévérités confondues. Etant donné le nombre important de niveaux dans la variable « types de service » (10 niveaux), nous avons choisi de comparer tous les types de service à chaque type de service considéré comme les plus aggravant vis-à-vis du niveau de fatigue (i.e., matins successifs dans le tableau 31A, service fractionné dans le tableau 31B, après-midi après matin nuit courte dans le tableau 31C, matin après nuit courte dans le tableau 31D, matin après deuxième nuit courte dans le tableau 31E).

Variables	MS/M	MS/J	MS/AM	MS/S	MS/N	MS/M-NC	MS/M-2NC	MS/SF	MS/PM-MNC
Descent high > 4000 ft		+				+	+		+
Descent high at 500 ft		+	+	+		+	+		+
Descent high 2000 -> 1000		+	+	+		+	+	+	+
Descent high 4000 -> 2000		+	+	+		+	+		+
Descent high 4000 – 10000		+				+	+		
Roll exc 500 to 1500									
Speed exc MMO		+	+	+	+	+	+	+	+
Speed exc VFE		+				+	+		
Speed exc VLE					-				
Speed exc VMO									
Speed under FL 100	-	+	-	-		+	+	-	

8A

Variables	SF/M	SF/J	SF/AM	SF/S	SF/N	SF/M-NC	SF/M-2NC	SF/MS	SF/PM-MNC
Descent high > 4000 ft						+	+		
Descent high at 500 ft				+		+	+		
Descent high 2000 -> 1000	-							-	
Descent high 4000 -> 2000		-		+		+	+		
Descent high 4000 – 10000				+		+	+		
Roll exc 500 to 1500									
Speed exc MMO	-	-	-	-		-		-	
Speed exc VFE						+	+		
Speed exc VLE					-				
Speed exc VMO									
Speed under FL 100	+	+				+	+	+	+

8B

Variables	PM-MNC/M	PM-MNC/J	PM-MNC/AM	PM-MNC/S	PM-MNC/N	PM-MNC/M-NC	PM-MNC/M-2NC	PM-MNC/MS	PM-MNC/SF
Descent high > 4000 ft	-		-	-			+	-	
Descent high at 500 ft	-	-		+				-	
Descent high 2000 -> 1000	-	-						-	
Descent high 4000 -> 2000	-	-				+	+	-	
Descent high 4000 – 10000						+	+		
Roll exc 500 to 1500									
Speed exc MMO	-	-	-	-		-		-	
Speed exc VFE						+	+		
Speed exc VLE									
Speed exc VMO	-								
Speed under FL 100	-		-	-		+	+		-

8C

Variables	M-NC/M	M-NC/J	M-NC/AM	M-NC/S	M-NC/N	M-NC/ M-2NC	M-NC/MS	M-NC/SF	M-NC/ PM-MNC
Descent high > 4000 ft	-	-	-	-		+	-	-	
Descent high at 500 ft	-	-	-	+			-	-	
Descent high 2000 -> 1000	-	-	-				-		
Descent high 4000 -> 2000	-	-	-				-	-	-
Descent high 4000 – 10000	-	-	-	-			-	-	-
Roll exc 500 to 1500	+								
Speed exc MMO	-	-				+	-	+	+
Speed exc VFE	-	-	-	-			-	-	-
Speed exc VLE	-		-		-				
Speed exc VMO		+							
Speed under FL 100	-	-	-	-			-	-	-

8D

Variables	M-2NC/M	M-2NC/J	M-2NC/ AM	M-2NC/S	M-2NC/N	M-2NC/ M-NC	M-2NC/ MS	M-2NC/ SF	M-2NC/ PM-MNC
Descent high > 4000 ft	-	-	-	-		-	-	-	-
Descent high at 500 ft	-	-	-				-	-	
Descent high 2000 -> 1000	-	-					-		
Descent high 4000 -> 2000	-	-	-				-	-	-
Descent high 4000 – 10000	-	-	-				-	-	-
Roll exc 500 to 1500									
Speed exc MMO	-	-	-	-		-	-		
Speed exc VFE	-	-	-				-	-	-
Speed exc VLE					-				
Speed exc VMO									
Speed under FL 100	-	-	-	-			-	-	-

8E

Tableau 31 - Résultats de l’analyse post-hoc U de Mann – Whitney toutes sévérités confondues.

Chaque tableau présente en colonne la comparaison deux à deux des différents types de service aux types de service « matins successifs » (8A), « service fractionné » (8B), « service après-midi après matin nuit courte » (8C), « matin nuit courte » (8D), « matin après deuxième nuit courte » (8E). En ligne les catégories d’événements significativement influencés par le type de service

Les résultats de cette analyse ont permis de dresser un classement des différents types de service en fonction du nombre d’occurrences d’événements (Figure n°37).



Figure n°37 - Classement des différents types de service en fonction du nombre d'occurrences d'événements toutes sévérités confondues

Ces résultats montrent que les quatre services de type Matin, Journée, Après-Midi et Nuit ne sont pas différenciables en fonction du nombre d'occurrence d'évènements. Les services de type Matin successifs sont ceux qui engendrent le plus fort taux d'évènements. On a également un effet important, mais plus faible, du type de service « service fractionné ». Toutefois, il semble ici aussi que la variable « type de service » soit moins sensible que la variable « niveau de fatigue de l'équipage » puisque aucun effet sur les évènements de sévérité 3 n'est détecté.

4.3.4 Conclusions et recommandations

Les résultats de l'analyse des évènements ASV, réalisée sur un type d'avion au sein d'une seule compagnie aérienne et sur une période d'un an, montrent qu'il n'est pas possible d'utiliser un indicateur global comme le nombre d'évènements ASV comme indicateur du risque fatigue. En revanche, elle montre que certains évènements ASV sont sensibles au risque de fatigue de l'équipage et qu'il est donc nécessaire de les identifier en préalable au SGS-RF. Ces indicateurs devront prendre en compte le niveau de sévérité des évènements, l'étude montrant que pour la plupart des évènements sensibles au niveau de fatigue de l'équipage, un niveau de fatigue élevé est caractérisé **par moins d'évènements de sévérité faible et plus d'évènements de sévérité élevée.**

L'étude propose une méthodologie de sélection de ces évènements. Cette dernière nécessite une mise en correspondance des données ASV avec des données issues de l'analyse des plannings par des modèles de prédiction du risque fatigue. Elle montre aussi la nécessité de définir la notion de fatigue de l'équipage en fonction de données sur chacun des membres d'équipage. Les choix devront être adaptés aux données disponibles dans la compagnie et à la finesse des résultats recherchés. Dans la mesure où l'ASV permettrait de connaître quel pilote est PF et PNF, on peut enrichir la méthode en prenant comme variables indépendantes la fatigue et les caractéristiques spécifiques du planning de chaque pilote.

L'étude STARE a aussi permis d'étudier l'impact d'autres variables (type de service, plage horaire...) sur la fréquence d'occurrence des événements. Les résultats montrent que la variable "risque de fatigue des équipages" est celle qui permet la sélection la plus précise des événements effectivement impactés par le niveau de fatigue des équipages.

4.4 - Analyse de l'absentéisme -

Dans le monde du travail, l'absentéisme est un indice des conséquences du travail sur la santé des personnels. Elle traduit une désadaptation de l'individu à la charge de travail qui lui est demandée (Fondation Européenne pour l'Amélioration des Conditions de Vie et de Travail, 1997)¹. La désadaptation s'exprime par des manifestations organiques et/ou psychologiques, plus ou moins pathologiques. Elle résulte d'un déséquilibre entre la personne et son environnement de travail, véritable conséquence d'une contradiction entre les demandes et exigences du travail et la capacité du personnel à y faire face en termes d'aptitudes et de compétences. Les causes de l'absentéisme peuvent être doubles :

- Des exigences de travail supérieures aux capacités de l'individu de façon aiguë ou chronique par accumulation,
- Une réduction des capacités de l'individu liée à une gestion inadéquate des ses capacités ou à une mauvaise santé sans lien avec le travail.

Le point de rupture dans le processus d'adaptation dépend de la motivation du personnel et des facteurs mis en œuvre par l'employeur pour pallier à l'absentéisme (Dumas, 2005)².

Les causes inhérentes au travail qui peuvent induire une désadaptation de l'individu sont multiples :

- Rythmes de travail,
- Contraintes physiques,
- Conditions psychologiques,
- Environnement organisationnel et facteurs socioprofessionnels.

¹ Fondation Européenne pour l'Amélioration des Conditions de Vie et de Travail. La prévention de l'absentéisme sur le lieu de travail – Résumé. Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes, 1997. ISBN 92-828-0340-6.

² Dumas, Marc (2005). De la gestion de l'absentéisme à la gestion de la santé dans une entreprise de cosmétiques, In E. Abord de Chatillon et O. Bachelard, eds, *Management de la santé et de la sécurité au travail. Un champ de recherche à défricher*. L'Harmattan éditeur.

Ces causes peuvent toutes se traduire par un état de fatigue aiguë et/ou chronique, physique et/ou mentale qui va être source d'absentéisme ou favoriser la survenue d'une pathologie, elle-même responsable d'un absentéisme.

Outre les coûts directs et indirects de l'absentéisme pour l'entreprise, son analyse est importante pour étudier l'impact des rythmes de travail sur la santé. L'objectif de l'analyse de l'étude sur l'absentéisme est de rechercher s'il existe un lien chez les personnels navigants entre leurs rythmes de travail et leur absentéisme.

4.4.1 Données d'absentéisme

Les seules données d'absentéisme sont celles que possèdent les services Ressources Humaines des compagnies. Ces données mentionnent les périodes d'absentéisme en catégories. Ces catégories varient suivant les compagnies, mais on retrouve de façon générique les catégories suivantes :

- Congés annuels,
- Autres congés,
- Congés de maternité,
- Inaptitude au vol,
- Arrêt maladie,
- Accident du travail.

Les fichiers fournis par les Ressources Humaines couvrent pour chacune des compagnies une période d'une année se déroulant du 1^{er} décembre 2007 au 30 novembre 2008. Une première phase de l'analyse a consisté à "nettoyer" les fichiers pour ne conserver que les données pertinentes pour l'étude et les mettre sous un format équivalent. Plusieurs règles ont ainsi été appliquées, sachant qu'il n'était pas question au niveau de l'étude de disposer de données couvertes par le secret médical :

- Ne sont conservées que les absences dues à la maladie et aux accidents du travail,
- Suppression des absences dépassant plus de 180 jours dans l'année et des arrêts longue maladie. De telles absences sont en général liées à des pathologies importantes où si la fatigue pourrait être évoquée comme facteur de causalité à condition de disposer des informations suffisantes, il est difficile ensuite de mettre en relation l'absentéisme et les conditions de travail.

- Fusion des arrêts qui s'arrêtent un jour et recommencent le jour suivant.
Sur le plan administratif, il y a 2 arrêts, mais sur le plan médical il est fort probable que le second arrêt soit un prolongement du premier.

Pour certains personnels, des informations complémentaires ont du être recherchées avec les services des Ressources Humaines pour confirmer certains classements et/ou aider à en résoudre d'autres.

Les données ont été traitées à un seul niveau, celui du nombre des absentéismes. Dans un premier temps, il paraissait intéressant de traiter le nombre de jours d'absentéisme. Cette donnée est importante en termes de conséquences pour la compagnie. Toutefois, dans le cadre d'une recherche de causalité avec la fatigue, c'est plus la mise en situation d'absentéisme qui a de l'intérêt que de connaître la durée de l'arrêt. Ceci est dû au fait que si la fatigue a contribué à l'arrêt, les manifestations de la fatigue sont multiples et il est impossible d'établir un lien avec la durée de l'arrêt.

De même, il est intéressant de distinguer l'épidémiologie liée aux accidents de travail de celles liées aux arrêts de maladie. On peut faire l'hypothèse que les accidents du travail sont plus influencés par la fatigue que les arrêts de maladie car survenant en situation d'activité. C'est pourquoi dans un premier temps, une quantification de ces deux types d'arrêts a été réalisée. Le tableau suivant présente les résultats

Compagnie	Personnels	Taux d'accidents du travail / 100PN / 1 an	Taux d'absentéisme / 100 PN / 1an	Arrêts de travail / nombre d'absentéisme
X	PNT	1,5	43,5	3,5 %
	PNC	10,2	98,1	10,4 %
Y	PNT	5,0	83,3	6,0 %
	PNC	26,6	182,6	14,6 %
Z	PNT	2,5	77,4	3,2 %
	PNC	11,7	215,2	5,4 %

Tableau 32. Accidents du travail et arrêts de maladie

Ces résultats concernent l'ensemble de la période étudiée, à savoir une année d'exploitation. Le nombre des accidents du travail rapporté à l'ensemble des arrêts de maladie sont faibles. Ils sont plus faibles pour les PNT (de 3,2% à 6%) que pour les PNC (5,4% à 14,6%). Cette différence est probablement liée à la nature de l'activité qui expose davantage les PNC aux accidents du travail. Toutefois, une telle conclusion ne peut être faite avec certitude que si on dispose des causes et des circonstances des accidents du travail.

Le faible taux d'accidents du travail comparé aux arrêts de maladie ne permet pas de faire un traitement distinct des accidents du travail et des arrêts de maladie en termes de répartition annuelle sous peine d'avoir des données trop faibles et sans significativité. C'est pourquoi arrêts de maladie et accidents du travail sont traités ensemble.

Les Figures n°38 à 43 présentent par compagnie les taux d'absentéisme par personnel navigant, par mois et ce pour 10.000 heures de vol. Les graphes d'évolution sont présentés pour les personnels navigants techniques, puis commerciaux.

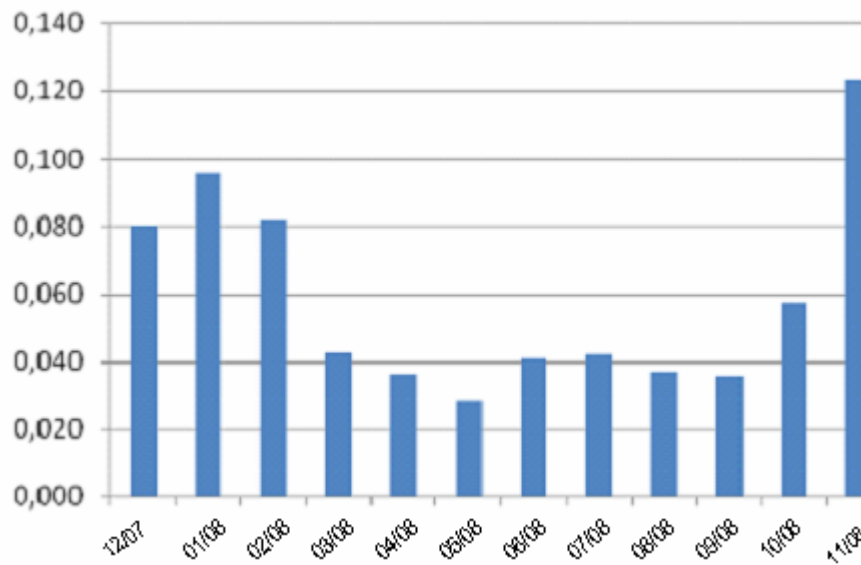


Figure n°38. Compagnie X : Taux d'absentéisme par PNT/mois /10.000 heures de vol

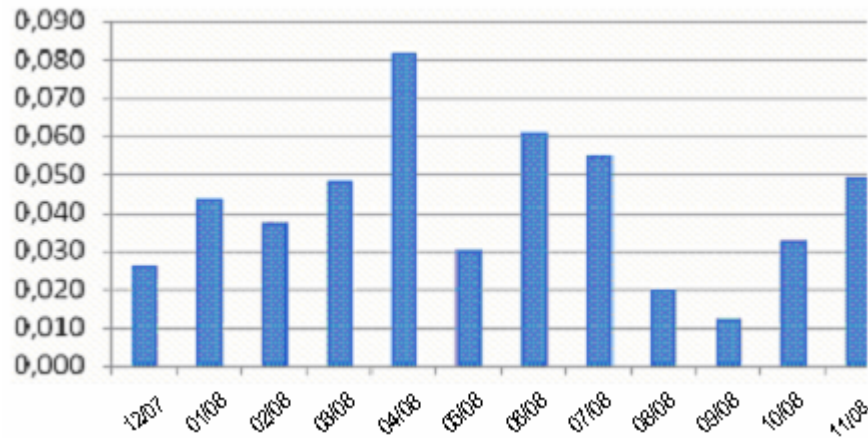


Figure n°39. Compagnie Y : Taux d'absentéisme par PNT/mois/10.000 heures de vol

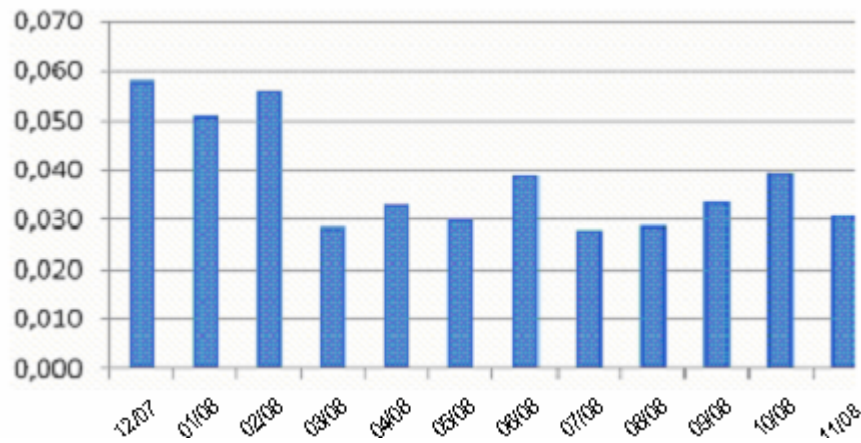


Figure n°40. Compagnie Z : Taux d'absentéisme par PNT/mois/10.000 heures de vol

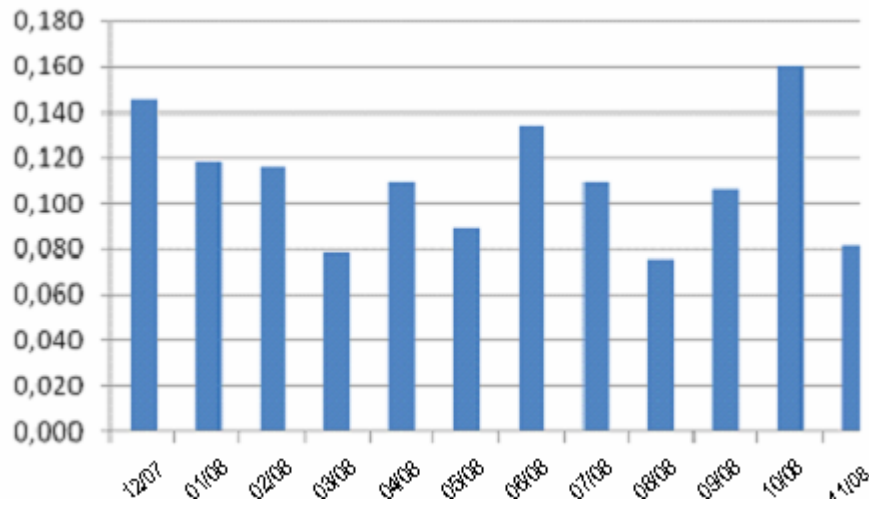


Figure n°41. Compagnie X : Taux d'absentéisme par PNC/mois/10.000 heures de vol

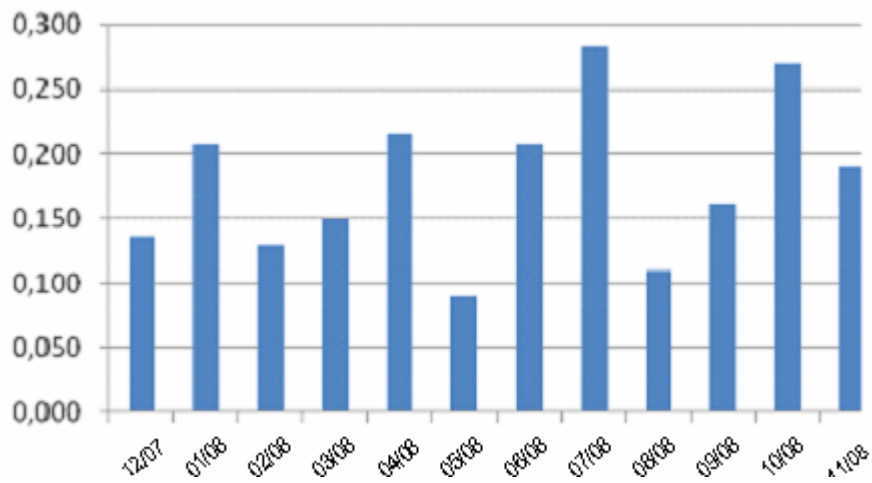


Figure n°42. Compagnie Y : Taux d'absentéisme par PNC/mois/10.000 heures de vol

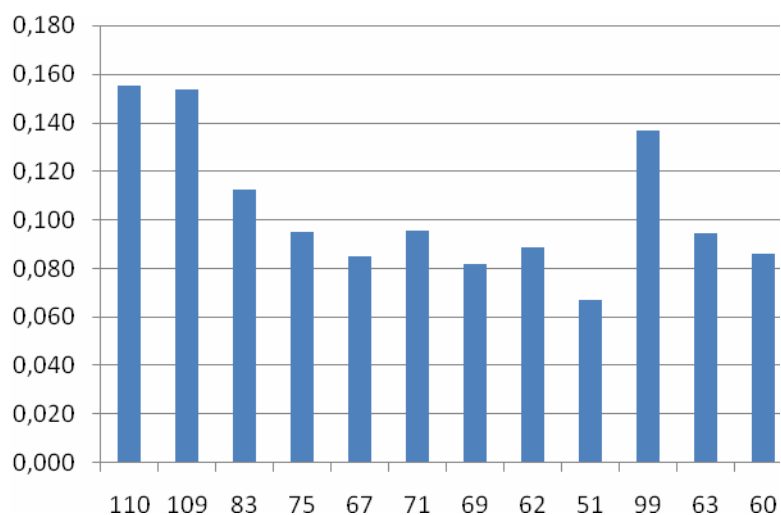


Figure n°43. Compagnie Z : Taux d'absentéisme par PNC/mois/10.000 heures de vol

Ces figures montrent que l'on ne retrouve pas de régularités dans la répartition des absentéismes entre les populations des personnels navigants techniques et commerciaux de chaque compagnie ainsi qu'entre les personnels navigants techniques et les personnels navigants commerciaux des trois compagnies. Il existe des différences entre les mois mais les causes de ces différences peuvent être si nombreuses qu'il n'est pas possible d'évaluer la contribution spécifique du facteur fatigue.

Pour aller plus loin dans la recherche d'une implication éventuelle de la fatigue dans l'absentéisme, il a été décidé de mener une approche comparative avec « cas-témoin » en étudiant :

- Les plannings de travail, avant l'arrêt de travail, des personnels ayant été absents, et
- Un ensemble de plannings de personnels n'ayant pas été absent sur la même période dans l'année.

La similitude entre les plannings s'est faite à partir de quatre indicateurs :

- Les vols fatigue plus (F+),
- Les vols fatigue moins (F-),
- Les nuits courtes (NC), et
- Les jours travaillés (JT).

Les vols F+ et F- sont caractérisés à partir des indices chronobiologiques et sociaux définis dans la partie "analyse des plannings" de l'étude STARE. Les critères de fatigue retenus pour comparer les plannings sont :

- Pourcentage de vols F+ : nombre de vols F+ / nombre de vols réalisés,
- Pourcentage de vols F- : nombre de vols F- / nombre de vols réalisés,
- Pourcentage de nuits courtes : nombre de nuits courtes effectués / nombre de nuits de la période,
- Pourcentage de jours travaillés : nombre de jours travaillés / nombre de jours de la période.

L'hypothèse qui est testée dans la comparaison est que les pourcentages de vols "fatigue plus", de nuits courtes et de jours travaillés sont supérieurs pour l'échantillon des personnes ayant eu une absence. De même, le pourcentage de vols "fatigue moins" est inférieur pour l'échantillon des personnes ayant eu une absence.

L'étude est réalisée pour les :

- Personnels navigants techniques commandant de bord et officier pilote de ligne de chacune des compagnies,
- Personnels navigants commerciaux de chacune des compagnies.

Tous les absentéismes ont été comparés, ce qui représente plus de 1300 arrêts pour l'ensemble des personnels des trois compagnies. Autant de situations sans arrêts ont été analysées pour faire les comparaisons.

La période d'analyse du planning de travail avant l'arrêt est de 30 jours. Cette période a parfois été plus courte si plusieurs arrêts se succèdent sans qu'il y ait un délai de 30 jours entre les deux, ou parce qu'il y a un manque de cohérence avec les dates d'arrêts et les périodes de travail retrouvées dans les plannings fournis.

Une difficulté systématique pour l'analyse de l'absentéisme est l'incertitude qu'il existe entre le moment où la personne est en incapacité de travailler et la date de début de la période d'absentéisme. Les périodes de repos sont autant de périodes tampons qui induisent des incertitudes pour l'analyse des plannings de travail par rapport au déclenchement réel de l'incapacité à travailler.

Le tableau suivant montre les résultats de la comparaison des plannings.

		Arrêts quelle que soit leur durée
Compagnie X	<i>CDB</i>	NS
	<i>OPL</i>	% F+, %NC et % JT Non malade > Malade
	<i>PNC</i>	% F- Non malade > Malade et % JT Non malade > Malade
Compagnie Y	<i>CDB</i>	NS
	<i>OPL</i>	NS
	<i>PNC</i>	% NC Malade > Non malade
Compagnie Z	<i>CDB</i>	NS
	<i>OPL</i>	% F- Non malade > Malade et % F+ Malade > Non malade
	<i>PNC</i>	% F+ Non malade > Malade




-  Différence significative ne confirmant pas les hypothèses
-  Différence significative confirmant les hypothèses
-  Différences significatives confirmant une hypothèse et en infirmant une autre
- NS Pas de différence significative

Tableau 33. Facteurs de fatigue et absentéisme

Les résultats observés sont disparates et ne dégagent pas de tendance nette sur l'implication des critères de fatigue retenus sur l'absentéisme. Les hypothèses sont vérifiées pour certaines populations alors qu'elles ne le sont pas pour d'autres, voire on note un résultat inverse à l'hypothèse; à savoir, qu'un risque élevé de fatigue génère une absence d'arrêt de travail. Toutefois, on peut dire que :

- Il n'existe pas de différence significative pour les commandants de bord sur la présence ou non de critères de fatigue dans les plannings précédant les absentéismes.
- Pour deux populations, les PNC de la compagnie Y et les OPL de la compagnie Z, les hypothèses sont vérifiées au regard des critères NC pour les PNC et des critères F+ et F- pour les OPL,
- Pour deux populations, les OPL de la compagnie X et les PNC de la compagnie Z, les critères F+, NC et JT infirment l'hypothèse.
- Enfin, pour les PNC de la compagnie X, F- confirme l'hypothèse alors que JT l'infirmes.

L'analyse de l'absentéisme réalisée dans le cadre de ce projet montre qu'on ne peut tirer de conclusion de l'impact de la fatigue liée aux plannings de travail

sur l'absentéisme à partir des seuls critères de fatigue utilisés dans cette analyse. La méthodologie employée révèle cependant qu'il existe des différences significatives en fonction des critères de fatigue pour certaines populations, ce qui traduit une sensibilité de la démarche. Toutefois, il faut poursuivre les travaux pour mieux cerner les critères de fatigue et faire évoluer ceux employés. La démarche de comparaison, telle qu'elle a été définie, paraît quant à elle une voie intéressante pour développer l'analyse de l'absentéisme des personnels au regard des critères de fatigue des rythmes de travail

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 à partir des données dont on dispose aujourd'hui n'est pas suffisamment valide et fiable pour formuler une recommandation. Toutefois, il faut conserver, voire développer les sources d'informations sur l'absentéisme telles qu'elles existent aujourd'hui à travers la médecine du travail, le CHSCT et les services des Ressources Humaines. Le médecin du travail est un élément essentiel du système de surveillance de l'impact de la fatigue sur la santé des personnels et de l'identification des baisses de performance des personnels au travail. Ces informations doivent permettre d'orienter ou d'enrichir les axes d'investigation développés par ailleurs dans le cadre de la mise en place du SGS-RF.

5 - OBSERVATOIRE CIBLE -

Rappelons que l'observatoire ciblé comporte une enquête par questionnaire et un recueil de données au cours de rotations sélectionnées parmi des rotations associées à un risque élevé de fatigue.

5.1 - Enquête web -

5.1.1 - Objectifs -

Cette enquête par questionnaire a pour but d'évaluer la fatigue perçue par les PN en lien avec leurs horaires de travail, leurs habitudes de sommeil, leurs conditions de travail et leurs stratégies adoptées pour lutter contre la fatigue. L'enquête par questionnaire est un outil potentiellement très porteur d'information dans la perspective d'un SGS-RF. En effet, ces enquêtes permettent d'accéder au vécu des PN et à leur acceptation des horaires et des conditions de travail. Cette dimension est essentielle car elle détermine l'impact social du travail qui peut, dans certains cas, se trouver en contradiction avec l'impact physiologique. Or, ne pas prendre en compte cette dimension peut, sur le long terme impacter le climat dans l'entreprise et la santé des salariés.

5.1.2 - Méthode -

5.1.2.1 Contenu du questionnaire

Le contenu du questionnaire a été élaboré à partir de plusieurs sources :

- un questionnaire préalablement utilisé par le LAA dans des études "fatigue" financées par la DGAC (références)
- des questionnaires standardisés sur l'impact des horaires de travail sur la fatigue et la santé (Standard Shiftwork Index, Folkard et coll.,)
- des entretiens avec des équipages des 3 compagnies aériennes. Au total, 3 entretiens collectifs ont été réalisés. Ces entretiens ont permis notamment de construire les questions spécifiques au métier des PN.

La plupart des questions sont "fermées", quelques questions "ouvertes" ont été ajoutées de manière à recueillir des suggestions de la part des PN. Par rapport aux questionnaires cités plus haut, il a été également ajouté des échelles

d'adhésion. L'objectif est ici d'évaluer les représentations des PN vis-à-vis du risque fatigue, de ses conséquences ou de sa gestion. Ces échelles peuvent se révéler particulièrement utiles pour identifier des aspects liés à la culture de l'entreprise vis-à-vis de la fatigue et d'éventuelles "idées fausses". Dans la perspective d'un SGS-RF ces échelles pourront notamment être utilisées pour évaluer l'impact des formations ou de campagnes de sensibilisation.

Le questionnaire débute par le recueil d'informations générales (âge, genre,...), puis se compose de 12 rubriques distinctes :

- 1 Situation professionnelle. L'objectif principal est de déterminer l'impact potentiel de l'expérience professionnelle sur la fatigue et sa gestion,
- 2 Situation familiale. L'objectif est d'évaluer l'impact des interactions entre vie familiale et vie professionnelle sur la fatigue,
- 3 Expérience en horaires décalés. L'objectif est d'appréhender l'influence de l'expérience en horaires décalés sur la fatigue,
- 4 Votre sommeil et votre fatigue. Cette rubrique permet de recueillir des informations sur la variabilité interindividuelle du sommeil et de la fatigue (caractère matin-soir, besoins de sommeil, pratique de la sieste...),
- 5 Type de vols et fatigue. Cette rubrique vise à identifier les types de vols ou combinaison de vol les plus associés à la fatigue,
- 6 Situations de travail et fatigue. L'objectif est ici d'identifier les citations typiques rencontrées par les PN susceptibles de générer de la fatigue (ex. pannes techniques, aléas liés aux passagers,...),
- 7 Conditions de travail et fatigue. Cette rubrique vise à évaluer l'impact de facteurs associés aux conditions de travail rencontrées dans la compagnie aérienne (bruits, repas, ambiance,...),
- 8 Manifestations de la fatigue. L'objectif est d'évaluer les principales manifestations (physiologiques, mentales,...) de la fatigue,
- 9 Stratégies. Cette rubrique vise à évaluer les principales stratégies développées par les PN pour gérer leur sommeil et leur fatigue au cours des repos et des services,
- 10 Risques liés à la fatigue. On évalue ici la perception que les PN ont des principaux risques liés à la fatigue en termes de sécurité,
- 11 Santé et hygiène de vie,
- 12 Vie sociale et familiale.

Avant d'être informatisé pour être présenté sur un site web, la version papier du questionnaire a fait l'objet de tests préalables auprès des PN des 3 compagnies. Ces tests ont permis d'identifier les questions difficilement compréhensibles ou ambiguës. Une fois ces remarques recueillies, le questionnaire a été implémenté en version électronique sur un site web dédié au projet STARE. Une nouvelle campagne de tests a été alors effectuée auprès des 3 compagnies aériennes pour évaluer les aspects d'interface et d'utilisabilité du questionnaire. Ces passations ont permis également d'estimer le temps de passation, environ 1h00 à 1h30. Cette durée de passation a été jugée élevée voire trop élevée. Une fois l'ensemble des remarques de compagnies collectées la version définitive du questionnaire a été mise en ligne le 29 mai 2008. Afin de contrôler la sécurité du site web, un mot de passe a été envoyé à chacune des 3 compagnies qui l'ont diffusé par email à l'ensemble des PN en CDI dans la compagnie. La période de passation s'est étalée du 29 mai 2008 au 31 mars 2009, avec des relances envoyées aux PN.

5.1.3 - Traitements et tests statistiques -

Il a été choisi de comparer pour chaque question, les réponses des PNT (CBD et OPL) à celles des PNC afin de mettre en évidence les différences significatives entre ces deux sous échantillons.

Deux tests statistiques ont été utilisés : le test du Chi-deux pour la comparaison des distributions d'effectifs (pourcentages) et le test t de Student pour la comparaison des moyennes.

5.1.4 - Résultats -

La figure n°44 présente le nombre de réponses pour chacune des tables correspondants aux rubriques présentées dans le chapitre précédent.

On constate une réduction du nombre de réponses de la table 0 à la table 4 que l'on peut attribuer à la durée relativement élevée du questionnaire.

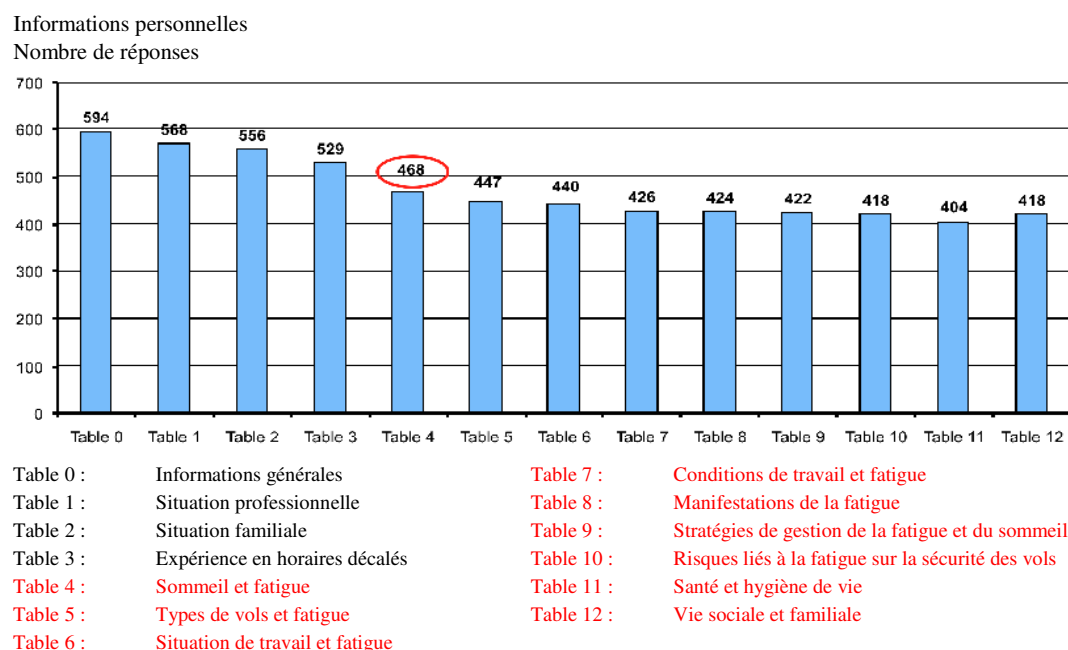


Figure n°44 - Nombre de réponses par table

Il a été choisi de garder pour le traitement, les 468 personnels ayant au moins répondu jusqu'à la table 4 du questionnaire (tableau). Cet échantillon se compose de 163 commandants de bords (CDB), 119 copilotes (OPL) et 186 PNC soit 23,7% des PNT et 20,1% des PNC et se répartit comme suit pour chaque compagnie aérienne (Tableau 34). Il n'y a pas de différence significative entre les compagnies aériennes.

	Compagnie X	Compagnie Y	Compagnie Z	Total
CDB	17 (40.5%)	49 (31.2%)	97 (36.1%)	163 (34.8%)
OPL	12 (28.6%)	40 (25.5%)	67 (25.4%)	119 (25.4%)
PNC	13 (31.0%)	68 (43.3%)	105 (39.0%)	186 (39.7%)
Total	42 (100%)	157 (100%)	269 (100%)	468 (100%)

Tableau 34 - Répartition des effectifs par fonction et compagnie

5.1.4.1 - Informations générales -

Le sous échantillon des PNT comporte significativement plus d'hommes, 95% que le sous échantillon des PNC, 30,1% ($\text{Chi}^2 = 221,801$; ddl = 1 ; $p < 0,001$).

Les PNT sont aussi plus âgés 41 ans et demi $\pm 7,3$ contre 34 ans $\pm 6,1$ pour les PNC (Test de Student $t = 7,734$; $p < 0,001$).

Il n'y a pas de différence significative entre les deux populations pour ce qui concerne :

- l'hébergement : 53,2% des PNT habitent proche de leur base contre 59,7% des PNC, 39,7% des PNT utilisent un hébergement d'appoint proche de la base contre 34,4% des PNC. Enfin, 7,1% des PNT avec un hébergement éloigné de la base n'ont pas de logement d'appoint contre 5,9% des PNC,
- l'hébergement d'appoint pour les faux basés : 15,2% des PNT faux basés n'ont pas de logement d'appoint, 15,9% ont un pied à terre, 56,1% dorment à l'hôtel et 12,9% sont hébergés par de la famille ou des amis. Pour les PNC faux basés, ces pourcentages sont respectivement, 14,7%, 14,7%, 57,3% et 13,3%.

5.1.4.2 - Situation professionnelle -

Il n'y a pas de différence significative entre les deux sous échantillons pour :

- la compagnie d'appartenance : pour les PNT, il y a 10,3 % appartenant à compagnie X, 31,6% à la compagnie Y et 58,2% à la compagnie Z. Pour les PNC, ils sont 7 % à compagnie X, 36,6% à compagnie Y et 56,5% à la compagnie Z,
- l'expérience dans la fonction qui est de 22 ans pour les PNT et 22 ans et demi pour les PNC,
- l'expérience professionnelle: avec 25 ans pour les PNT et 23 ans pour les PNC,
- la base : la base principale est Paris, 60,6% des PNT et 56,5% des PNC puis Lyon, 14,9% des PNT et 17,2% des PNC.

5.1.4.3 - Situation familiale -

La répartition des effectifs en fonction de la situation matrimoniale est significativement différente ($\chi^2 = 51,584$; ddl = 2 ; $p < 0,001$) entre les deux sous échantillons. Celui des PNT comporte plus de personnes mariées ou vivant en couple (83,6%), de personnes séparées (8,2%) et moins de célibataires (8,2%) tandis que le sous échantillon des PNC a 61,3 % de personnes mariées ou vivant en couple, 4,3% de personnes séparées et 34,4% de célibataires (Figure n°45).

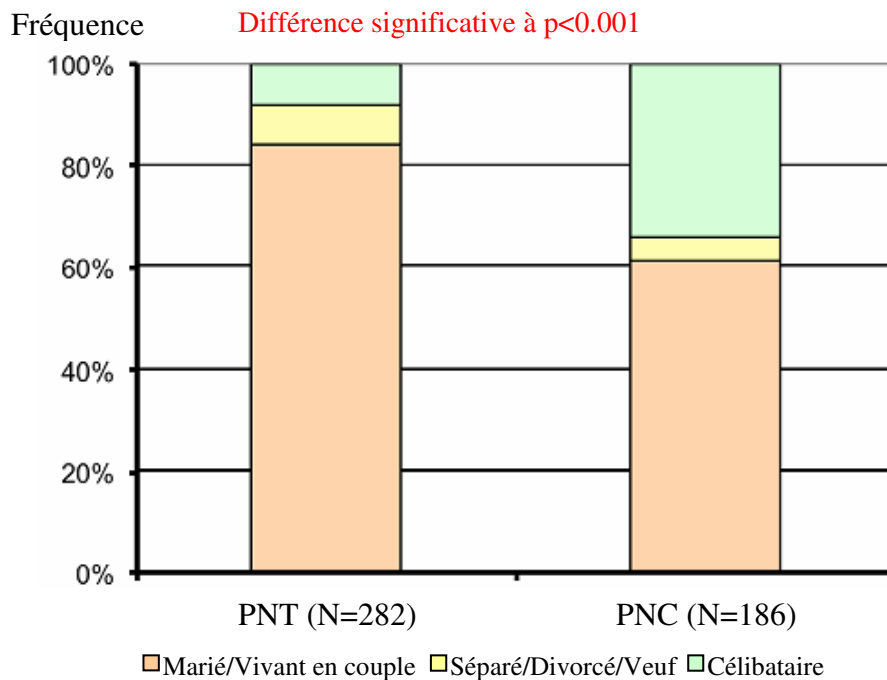


Figure n°45 - Fonction et situation matrimoniale

De plus, la répartition des effectifs en fonction du nombre de personnes dans le foyer est significativement différente ($\chi^2 = 84,124$; ddl = 4 ; $p < 0,001$) avec chez les PNC, plus de personnes seules 25,8%, plus de foyer avec 2 personnes 38,7% contre respectivement 8,9% et 16,7 % chez les PNT (Figure n°46).

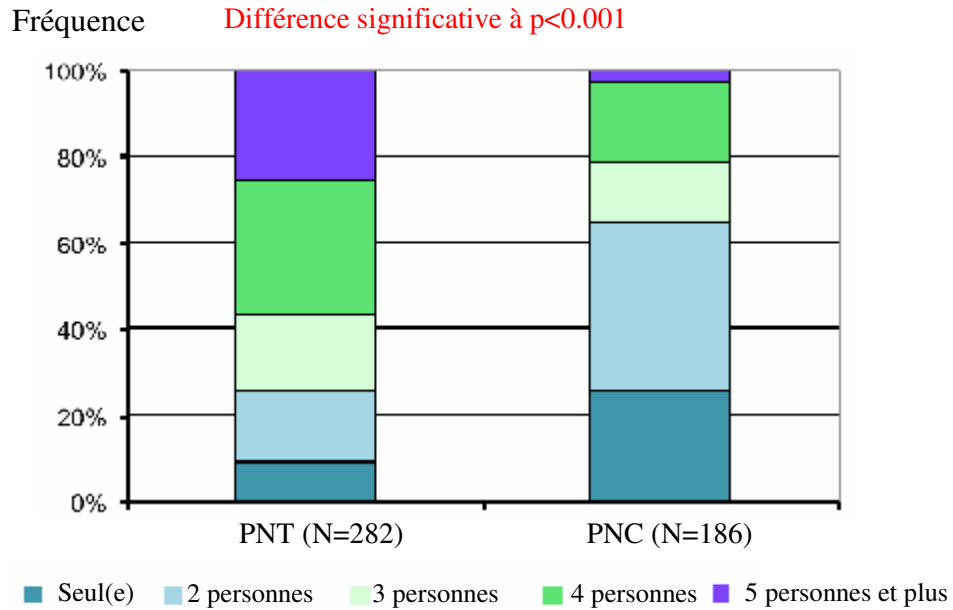


Figure n°46 Fonction et composition du foyer

Il n’y a pas de différence significative entre les deux sous échantillons concernant la répartition des réponses sur la perception des horaires par le conjoint (tableau 35) :

	PNT	PNC
Très difficile à supporter	3,2%	4,7%
Difficile à supporter	27,1%	25,6%
Indifférent	13,5%	14,0%
Supportable	41,8%	47,3%
Tout à fait supportable	14,3%	8,5%
Total	100,0%	100,0%

Tableau 35 - Perception des horaires par le conjoint

On constate qu'en majorité, les conjoints estiment plutôt supportables les horaires de travail des PN. Ceci constitue un élément favorable dans l'acceptation par les équipages de leurs propres horaires.

Le temps de trajet est significativement supérieur pour les PNT (Test de Wilcoxon $z = 2,23$; $p < 0,05$), il est de 1 heure 23 minutes en moyenne contre 1 heure 8 minutes pour les PNC.

Il n'y a pas de différence entre les pourcentages de citations des moyens de transports pour le trajet domicile travail, le plus utilisé étant la voiture (74,4% pour les PNT et 76,2% pour les PNC) suivi de l'avion (25,3% pour les PNT et 20,0% pour les PNC) puis des transports en communs régionaux (11,7% des PNT et 14,1% des PNC),

5.1.4.4 - Avantages et inconvénients -

Les 5 avantages les plus cités (tableau 36) sont les mêmes pour les deux sous échantillons à savoir "le temps libre / la disponibilité / présence à la maison" (environ 84%), "les horaires décalés / pas d'embouteillage / heures creuses courses, administration" (environ 64%), "pas de routine / pas de monotonie / diversité" (environ 27%), "3 à 5 jours de repos successifs" (environ 14%) et "activité concentrée, regroupée sur une courte période" (environ 10%). Ce résultat conforte les résultats associés à l'acceptation des horaires par les conjoints. Le temps libre et la possibilité de l'utiliser pour les tâches domestiques constituent des avantages identifiées par les PN.

Avantages du travail	PNT	PNC
Temps libre, disponibilité, présence à la maison, jours off	84,6%	84,3%
Horaires décalés, pas d'embouteillage, heures creuses pour administration et courses	63,4%	64,6%
Pas de routine, pas de monotonie, diversité	26,8%	27,5%
3 à 5 jours de repos consécutifs	13,8%	14,6%
Activité concentrée, regroupée sur une courte période	10,2%	9,6%

Tableau 36 - Avantages du travail

Les 6 inconvénients les plus cités (Tableau 37) sont les mêmes pour les deux échantillons. On constate cependant des pourcentages de citations significativement plus importants pour les PNC pour la fatigue (accumulation / difficulté à récupérer / baisse de vigilance / effet sur la santé) ($\text{Chi}^2 = 15,536$; ddl = 1 ; $p < 0,001$) et pour "alimentation décalée, irrégulière" ($\text{Chi}^2 = 19,827$; ddl = 1 ; $p < 0,001$). Il est par ailleurs frappant de constater que les horaires de travail constituent des éléments ressortant comme étant un avantage (temps libre) et un inconvénient (travail le week end, fatigue).

Inconvénients du travail	PNT	PNC
Vie familiale, sociale : éloignement, absence, horaires décalés, travail le week-end	84,7%	86,6%
Nuits courtes : temps d'escale trop court, fatigue, manque de sommeil	49,6%	48,0%
Fatigue : accumulation, difficulté à récupérer, baisse de vigilance, effet sur la santé	37,4%	56,4%
Levers tôt successifs : fatigue	37,4%	32,4%
Alimentation décalée, irrégulière / mauvaise qualité des repas, repas froids	13,7%	31,3%
Amplitude de travail trop longue : trop de vols, trop de jours travaillés	10,3%	8,9%

Tableau 37 - Inconvénients du travail

Il n'y a pas de différence significative entre les deux sous échantillons pour la répartition des réponses à la question : L'ensemble des avantages compense-t-il les inconvénients (Tableau 38). On constate une répartition très équilibrée des réponses n'indiquant pas une tendance nette sur cette dimension de compensation des inconvénients par les avantages. Ceci traduit probablement la diversité des situations individuelles (âge, situation familiale,...) qui est déterminante dans la perception des avantages et inconvénients apportées par le métier.

	PNT	PNC
Pas du tout	19,6%	16,4%
Probablement non	24,6%	21,3%
Peut-être	15,9%	21,3%
Probablement oui	25,0%	27,3%
Oui, sans hésitation	14,9%	13,7%
Total	100,0%	100,0%

Tableau 38 - Compensation des avantages et des inconvénients

5.1.4.5 - Sommeil et fatigue chronique -

Les PNC ont un besoin de sommeil significativement plus élevé $9h05 \pm 1h01$ que les PNT $8h25 \pm 0h58$ (Test de Student $t = -7,201$; $p < 0,001$). Il est à noter que ces durées de sommeil sont plus élevées que pour la population générale (entre 7h30 et 8h00).

Pour ce qui concerne les siestes (figure n°47), on constate que les PNT pratiquent significativement plus de siestes avant les services de soirée ($\text{Chi}^2 = 10,443$; $\text{ddl} = 1$; $p < 0,001$) et moins de sieste après les services du matin sans nuit courte ($\text{Chi}^2 = 6,964$; $\text{ddl} = 1$; $p < 0,01$) et après les services du matin avec nuit courte ($\text{Chi}^2 = -4,243$; $\text{ddl} = 1$; $p < 0,05$).

De plus, tous les pourcentages de PNC effectuant une sieste sont significativement différents les uns des autres sauf entre repos et service du matin sans nuit courte et entre service d'après-midi et de soirée. Pour les PNT, seuls les pourcentages de sieste de PNT effectuant une sieste entre repos et service du matin sans nuit courte ne sont pas significativement différents (annexe V1).

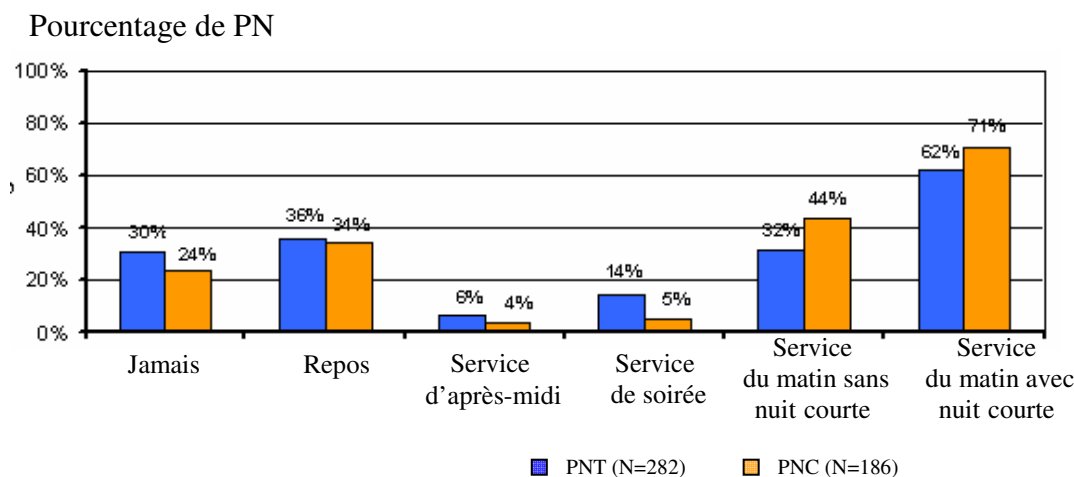


Figure n°47 - Fonction et pourcentage de PN effectuant ou pas une sieste

Les durées moyennes de sieste des PNC sont toutes supérieures aux durées moyennes de sieste des PNT (figure n°48) avec des différences significatives pour les jours de repos (Test de Student $t = -2,291$; $p < 0,05$), les services du matin sans nuit courte (Test de Student $t = -2,39$; $p < 0,02$) et les services du matin avec nuit courte (Test de Student $t = -4,243$; $p < 0,001$).

Pour les PNT, les durées moyennes de siestes ne sont pas significativement différentes entre les repos et les services d'après-midi, les repos et les services de soirée, les services d'après-midi et les services de soirée et enfin entre les services de soirée et les services du matin sans nuit courte. Pour les PNC, les durées moyennes de sieste qui présentent des différences significatives sont entre les repos et les services du matin sans nuit courte, les repos et les services du matin avec nuit courte, les services de soirée et les services du matin sans nuit courte et enfin entre les services du matin sans nuit courte et les services du matin avec nuit courte. Le tableau détaillé des résultats statistiques figure en annexe V2.

Durée moyenne (hh : mm)

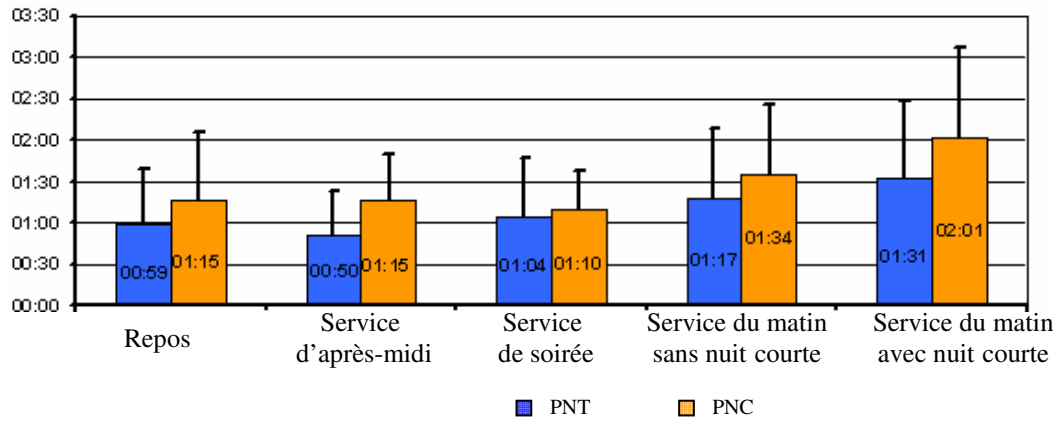


Figure n°48 - Fonction et durée moyenne de la sieste

Les PNC déclarent des dettes de sommeil (variation en pourcentage de la durée du sommeil par rapport au besoin habituel de sommeil) plus élevées que les PNT (figure n°49) avec des différences significatives pour les nuits entre un repos et un service du matin (Test de Student $t = -6,045$; $p < 0,001$), entre une fin de service entre 12h et 15h et un service suivant débutant avant 7h (Test de Student $t = 3,192$; $p < 0,02$) et au cours d'une nuit courte (Test de Student $t = 6,924$; $p < 0,001$). Pour ces dernières, on note que la dette de sommeil déclarée est assez importante, 33% pour les PNT contre 41 % pour les PNC. Cette dette de sommeil est plus élevée que pour les sommeils survenant avant un service du matin. Ceci confirme que les services du matin génèrent une dette de sommeil élevée, augmentée au cours des repos réduits.

De plus, pour les PNC, seuls les pourcentages moyens de dette de sommeil entre deux jours de repos et entre un repos et un service d'après midi se terminant vers 21h ne présentent pas de différence significative. Il en est de même pour les PNT avec en plus, aucune différence significative pour les dettes de sommeil entre un repos et un service du matin (avant 7h) et entre une fin de service 12h-15h et un service suivant débutant avant 7h. Les détails des tests statistiques sont présentés en Annexe V3.

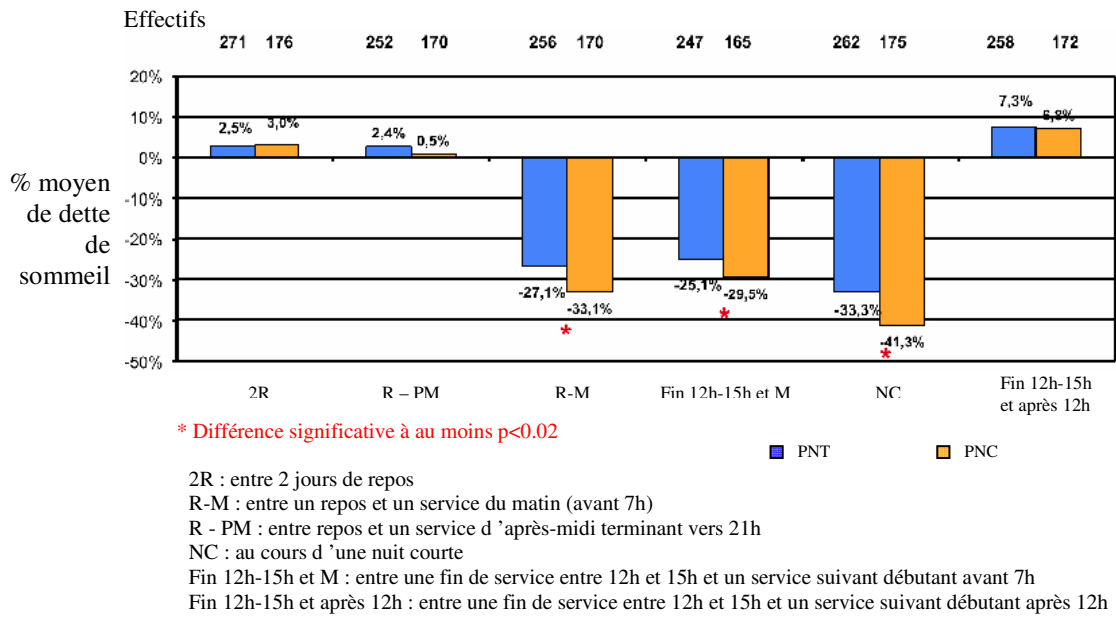


Figure n°49. Fonction et pourcentage moyen de dette de sommeil

De même, les PNC présentent plus de troubles du sommeil moyens à élevés, quels que soient les services (figure n°50) avec des différences significatives pour les nuits entre un repos et un service du matin ($\text{Chi}^2 = 6,062$; $\text{ddl} = 1$; $p < 0,02$), entre une fin de service entre 12h et 15h et un service suivant débutant avant 7h ($\text{Chi}^2 = 10,684$; $\text{ddl} = 1$; $p < 0,01$) et au cours d'une nuit courte ($\text{Chi}^2 = 5,914$; $\text{ddl} = 1$; $p < 0,02$).

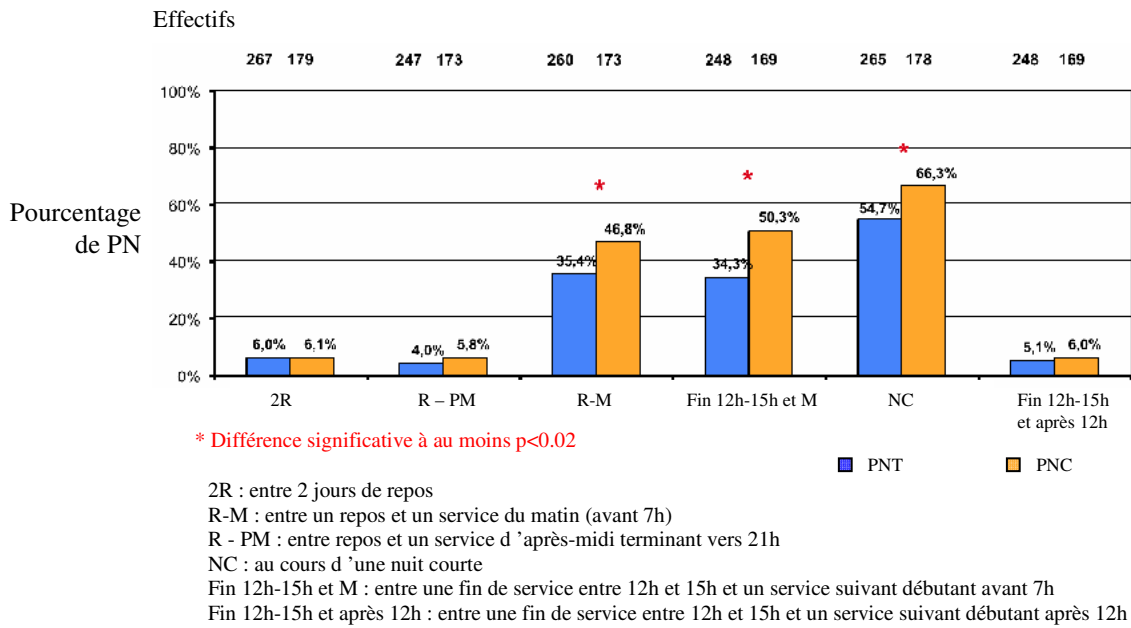


Figure n° 50 - Fonction et pourcentage de personnels présentant des troubles du sommeil moyens à élevés

Enfin significativement davantage de PNC se déclarent fatigués « chroniquement » que de PNT (figure n°51) ($\chi^2 = 9,470$; ddl = 3 ; $p < 0,05$). Globalement on constate que moins de 10 % de la population PN se déclarent très fatigués « chroniquement ».

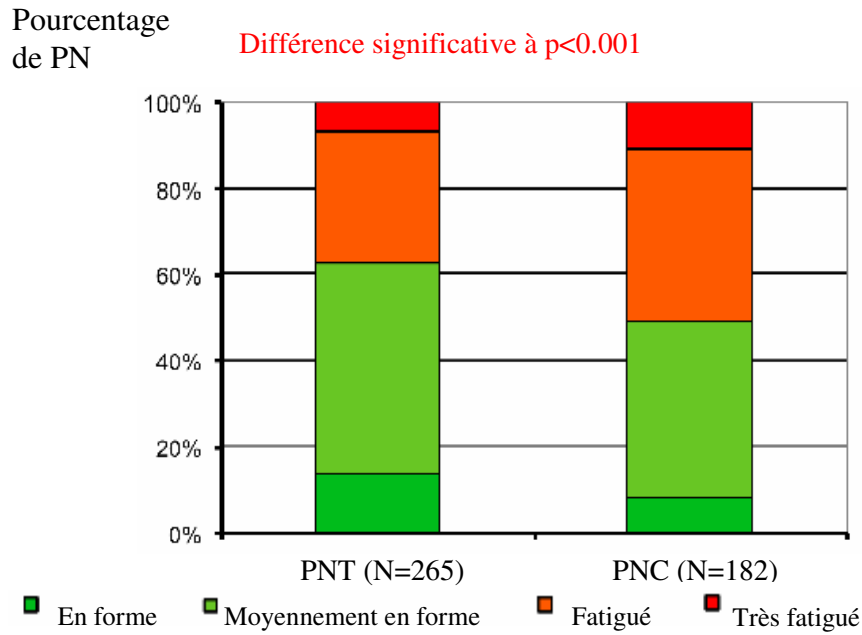


Figure n°51 - Niveau de fatigue chronique pour les PNT et PNC

Il n'y a pas de différence significative entre les PNT et PNC en ce qui concerne :

- les accidents de la route au cours des 2 dernières années, environ 13% des PN ont déclaré un accident (58 PN),
- le type de trajets au cours desquels l'accident a eu lieu (Tableau 39). On note que les accidents surviennent davantage au cours de retour au domicile que lors des trajets vers la base ce qui suggère un impact potentiel de la fatigue sur ces accidents.

	PNT	PNC
Au cours du trajet domicile-base	15,0%	23,1%
Au cours du trajet base-domicile	37,5%	30,8%
Au cours d'un autre déplacement	47,5%	46,1%
Total	100%	100%

Tableau 39 - Type de trajets lors d'accident de la route

- Les chiffres généraux de l'accidentologie en France pour les années 2007 et 2008 font apparaître des proportions de sinistres similaires (données Comité des Constructeurs d'Automobiles Français et Fédération Française de Sport Automobile)

5.1.4.6 - Succession de services et fatigue -

Les PNC déclarent des niveaux de fatigue significativement plus élevés que les PNT pour quasiment l'ensemble des successions de services (figure n°52). Par contre, les nombres de jours moyens de récupération nécessaires sont significativement supérieurs pour les PNC pour 5 successions de services (figure n°53) sur les 13 étudiées. Le détail des résultats des tests effectués est présenté en annexe V4. On constate que pour les 2 populations, la fatigue est la plus associée aux successions de services matinaux et les rotations repos réduits de type 5/3. La hiérarchie des niveaux de fatigue associés aux différentes configurations de service est équivalente pour les PNT et les PNC.

La figure 53 indique en outre que tout service, quel que soit le niveau de fatigue induit, est ressenti comme nécessitant au moins un jour complet de récupération.

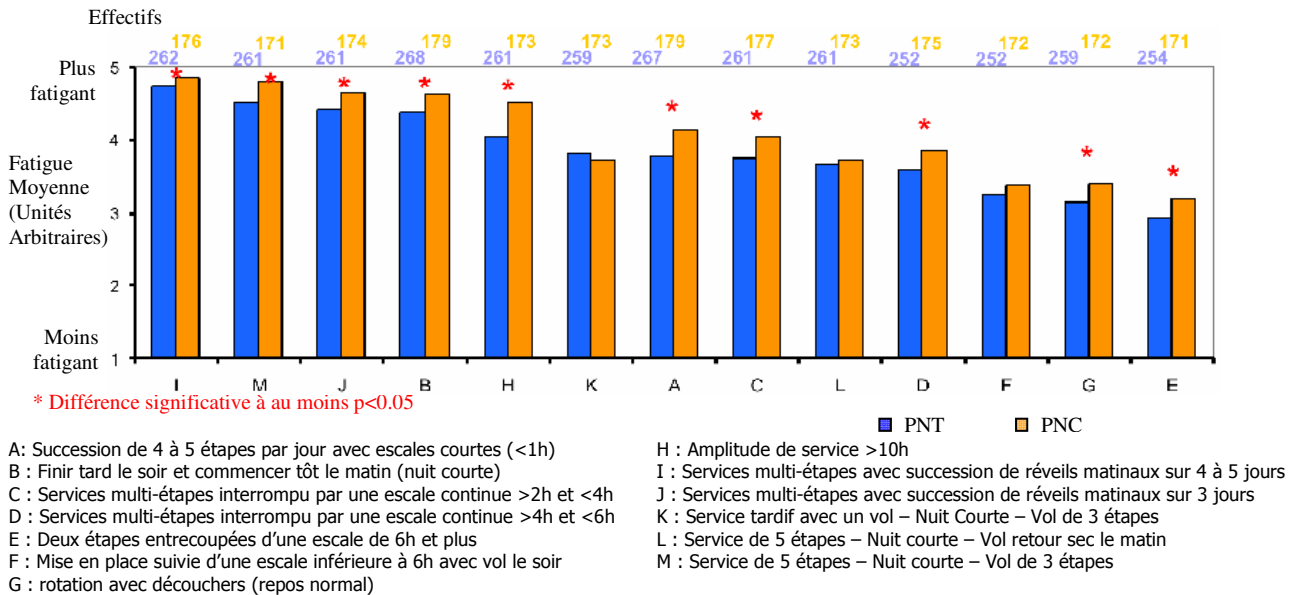
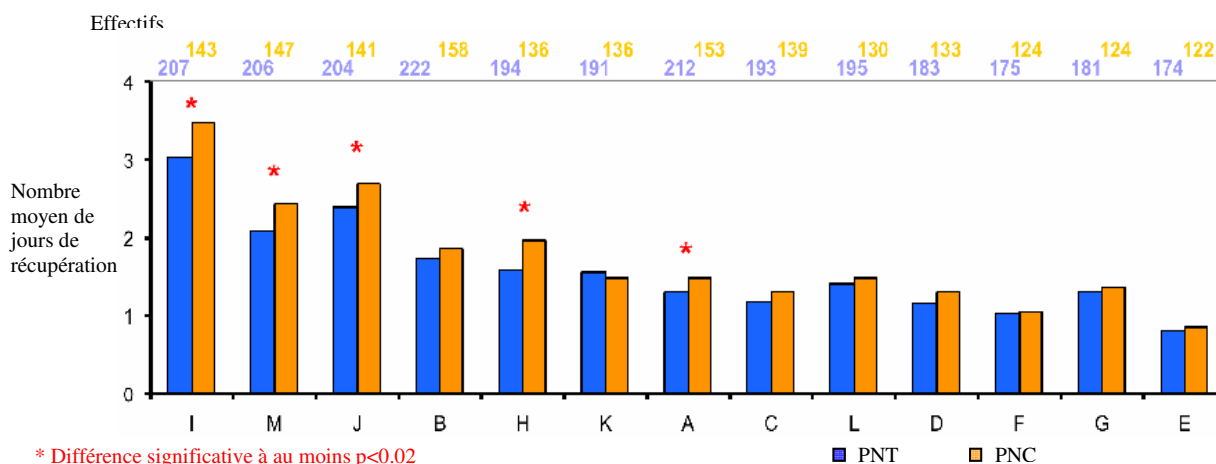


Figure n°52 - Niveau moyen de fatigue ressenti associé aux successions de services pour les PNT et PNC



A : Succession de 4 à 5 étapes par jour avec escales courtes (<1h) H : Amplitude de service >10h
 B : Finir tard le soir et commencer tôt le matin (nuit courte) I : Services multi-étapes avec succession de réveils matinaux sur 4 à 5 jours
 C : Services multi-étapes interrompu par une escale continue >2h et <4h J : Services multi-étapes avec succession de réveils matinaux sur 3 jours
 D : Services multi-étapes interrompu par une escale continue >4h et <6h K : Service tardif avec un vol – Nuit Courte – Vol de 3 étapes
 E : Deux étapes entrecoupées d’une escale de 6h et plus L : Service de 5 étapes – Nuit courte – Vol retour sec le matin
 F : Mise en place suivie d’une escale inférieure à 6h avec vol le soir M : Service de 5 étapes – Nuit courte – Vol de 3 étapes
 G : rotation avec découchers (repos normal)

Figure n°53 - Nombre moyen de jours de récupération ressentis comme nécessaire en fonction des successions de services pour les PNT et PNC

5.1.4.7 - Situations de travail et fatigue -

Les situations les plus pénalisantes (figure n°54) sur le plan de la fatigue pour plus de 40% des PNT sont :

- les perturbations liées à l’environnement extérieur (météo défavorable, turbulences) (72,2%),
- les aléas liés à des pannes techniques (52,5%),
- les changements d’avion (51%).

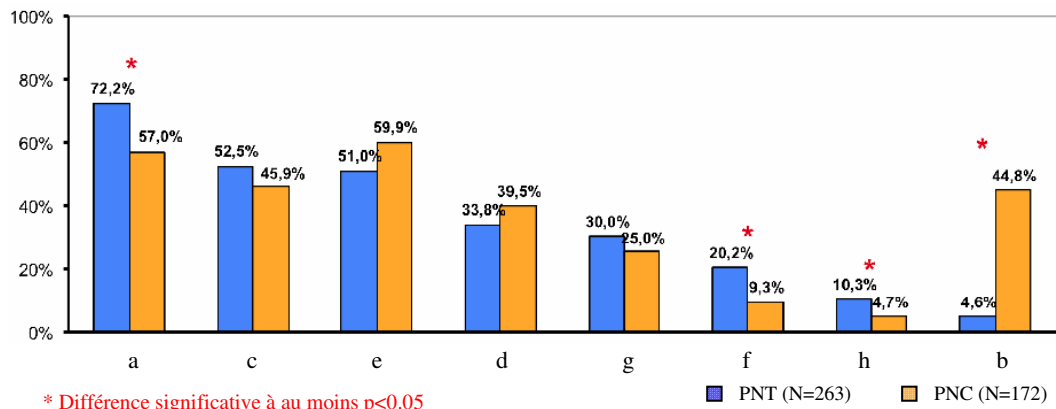
Celles citées par plus de 40% des PNC sont :

- les changements d’avion (59,9%),
- les perturbations liées à l’environnement extérieur (météo défavorable, turbulences) (57%),
- les aléas liés à des pannes techniques (45,9%),
- les aléas liés aux passagers (44,8%).

On constate des différences significatives entre les PNT et les PNC pour les perturbations liées à l’environnement extérieur (météo défavorable, turbulences) ($\chi^2 = 10,833$; ddl = 1 ; p < 0,001), les dégradations des supports de travail ($\chi^2 = 9,172$; ddl = 1 ; p < 0,01), les conflits avec les personnels au sol

($\chi^2 = 4,431$; ddl = 1 ; $p < 0,05$) et les aléas liés aux passagers ($\chi^2 = 103,291$; ddl = 1 ; $p < 0,001$).

Pourcentage de citations



a : Perturbations liées à l'environnement extérieur
b : Aléas liés aux passagers
c : Aléas liés à des pannes techniques/tolérances
d : Modifications de planning

e : Changements d'avion
f : Dégradations des supports de travail
g : Conflits au sein de l'équipage
h : Conflits avec les personnels au sol

Figure n°54 - Pourcentage de citations des situations de travail jugées les plus pénalisantes sur le plan de la fatigue pour les PNT et les PNC

Les PNC déclarent un rang moyen de fatigue significativement plus élevé que les PNT (figure n°55) pour "le changement d'avion" (Test de Student $t = 2,266$; $p < 0,02$) et "les aléas liés aux passagers" (Test de Student $t = 3,016$; $p < 0,01$).

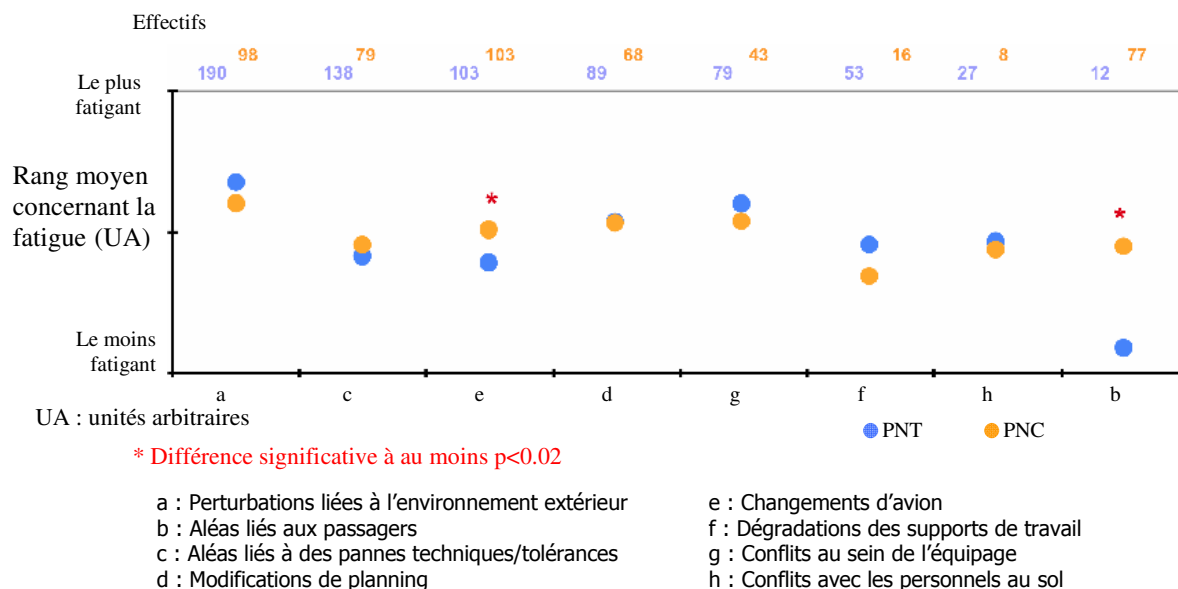


Figure n°55 - Rang moyen de fatigue par situations de travail pour les PNT et PNC

5.1.4.8 - Conditions de travail et fatigue -

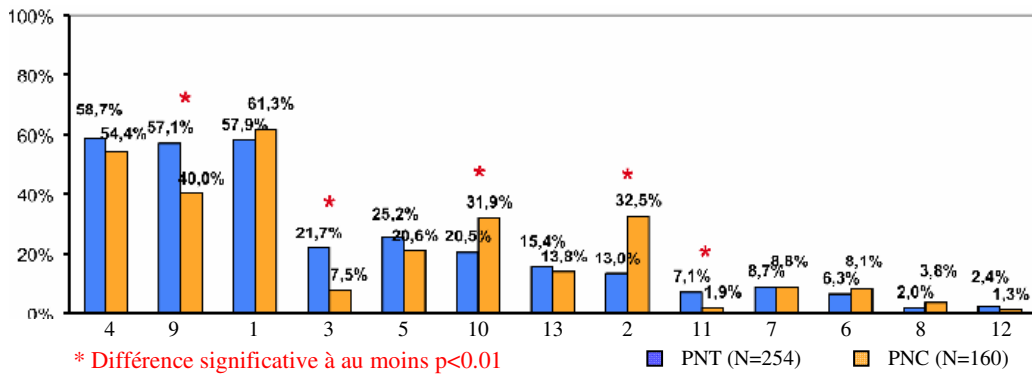
Les conditions de travail citées comme les plus pénalisantes (figure n°56) sur le plan de la fatigue par plus de 40% des PN sont : la cadence de travail / la pression temporelle, les contraintes liées aux plannings et les ambiances physiques (bruit, qualité de l'air, température). Les PNT citent significativement davantage :

- les contraintes liées aux plannings ($\text{Chi}^2 = 11,465$; ddl = 1 ; $p < 0,001$),
- les exigences mentales (attention visuelle en concentration) ($\text{Chi}^2 = 14,497$; ddl = 1 ; $p < 0,001$),
- les conditions d'hébergement en escale ($\text{Chi}^2 = 5,537$; ddl = 1 ; $p < 0,02$).

Les PNC, quant à eux citent significativement davantage :

- la qualité des repas ($\text{Chi}^2 = 6,829$; ddl = 1 ; $p < 0,01$),
- les contraintes posturales ($\text{Chi}^2 = 22,896$; ddl = 1 ; $p < 0,001$).

Pourcentage de citations



- 1 : Ambiances physiques (bruit, température, qualité de l'air ...)
- 2 : Contraintes posturales
- 3 : Exigences mentales (attention visuelle, concentration)
- 4 : Cadence de travail, pression temporelle
- 5 : Ruptures de cadences
- 6 : Certaines destinations ou certains types d'aéroports
- 7 : Répétitivité du travail
- 8 : Poids des responsabilités
- 9 : Contraintes liées aux plannings
- 10 : Qualité des repas
- 11 : Conditions d'hébergement en escale
- 12 : Pressions commerciales
- 13 : Situations de contrôle ou d'instruction

Figure n°56 - Pourcentage de citations des conditions de travail jugées les plus pénalisantes sur le plan de la fatigue pour les PNT et les PNC

Une seule différence significative entre les PNT et PNC apparaît pour le rang moyen de fatigue des contraintes (figure n°57), il s'agit de la cadence de travail / pression temporelle (Test de Student $t = 2,195$; $p < 0,05$).

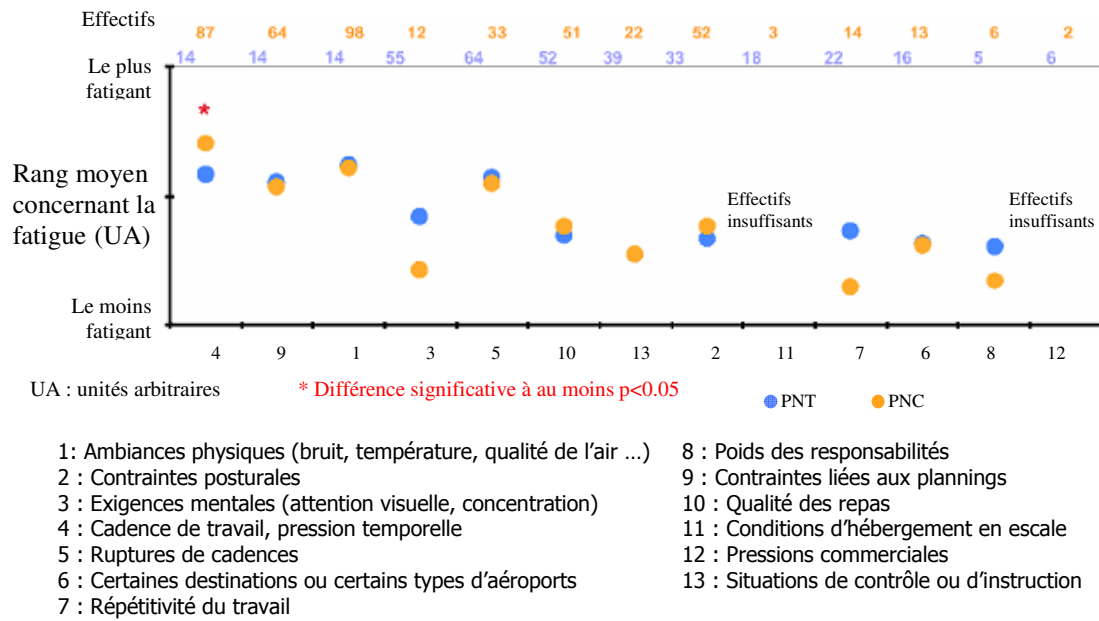
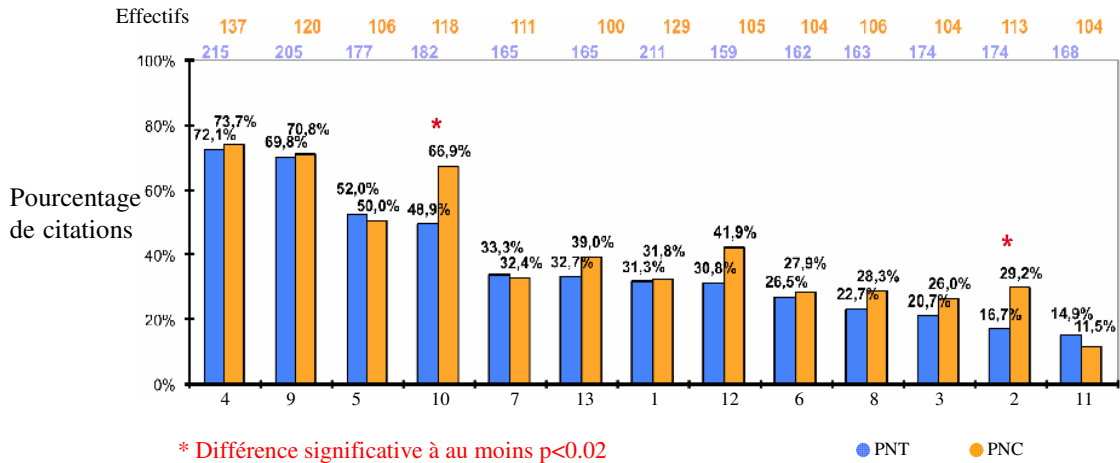


Figure n°57 - Rang moyen de fatigue pour les conditions de travail jugées les plus pénalisantes pour les PNT et les PNC

Les conditions de travail les plus citées comme étant plus dégradées qu'avant (figure n°58) sont "la cadence de travail / pression temporelle" (environ 72% des PN), "les contraintes liées aux plannings" (environ 70%), "les ruptures de cadence" (environ 50%) et "la qualité des repas" avec une différence significative entre les PNT et PNC ($\chi^2 = 9,464$; ddl = 1 ; $p < 0,01$). Une autre différence significative entre les deux populations apparaît pour les "contraintes posturales" ($\chi^2 = 6,358$; ddl = 1 ; $p < 0,02$).



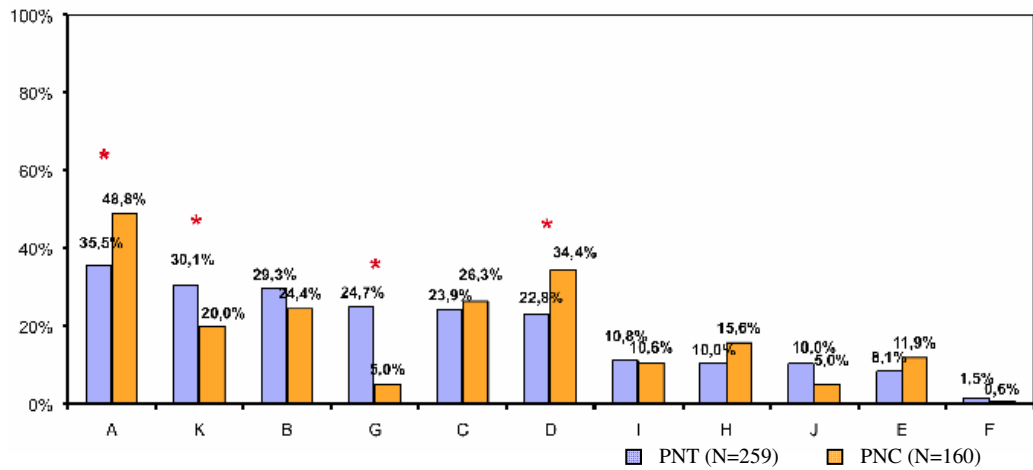
- | | |
|--|--|
| 1 : Ambiances physiques (bruit, température, qualité de l'air ...) | 8 : Poids des responsabilités |
| 2 : Contraintes posturales | 9 : Contraintes liées aux plannings |
| 3 : Exigences mentales (attention visuelle, concentration) | 10 : Qualité des repas |
| 4 : Cadence de travail, pression temporelle | 11 : Conditions d'hébergement en escale |
| 5 : Ruptures de cadences | 12 : Pressions commerciales |
| 6 : Certaines destinations ou certains types d'aéroports | 13 : Situations de contrôle ou d'instruction |
| 7 : Répétitivité du travail | |

Figure n°58 - Pourcentage de citations des conditions de travail jugées plus dégradées qu'avant pour les PNT et les PNC

5.1.4.9 - Manifestations de la fatigue chez soi et chez les collègues

Pour les manifestations de la fatigue identifiées pour soi-même (figure n°59), les PNT déclarent significativement faire plus d'efforts pour rester attentifs ($\text{Chi}^2 = 5,227$; ddl = 1 ; $p < 0,05$) et plus de baisses de la communication ($\text{Chi}^2 = 27,000$; ddl = 1 ; $p < 0,001$). Les PNC quant à eux déclarent plus de manifestations physiques ($\text{Chi}^2 = 7,178$; ddl = 1 ; $p < 0,01$) et d'envie croissante et irrésistible de dormir ($\text{Chi}^2 = 6,714$; ddl = 1 ; $p < 0,01$). Ces manifestations sont clairement associées à la nature de l'activité des deux populations de PN.

Pourcentage de citations



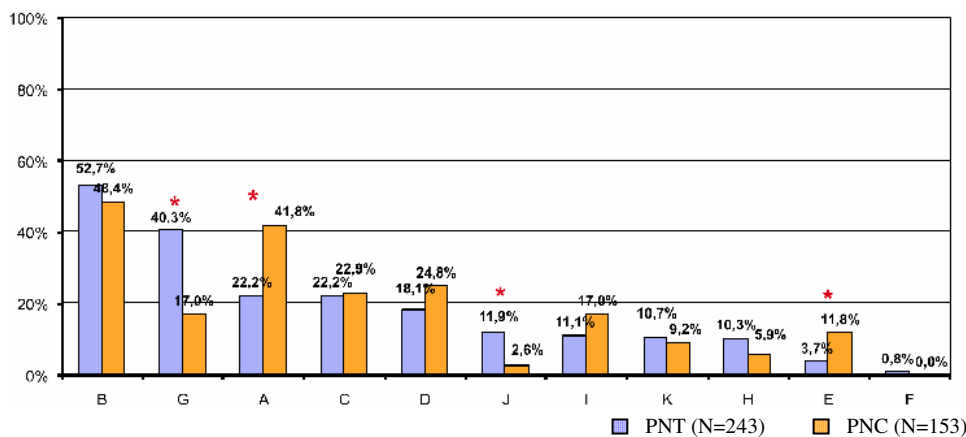
A : Manifestations physiques (dos, tête, yeux, mauvaise mine, jambe)
 B : Perte d'intérêt et de motivation, perte de disponibilité
 C : Irritabilité, agressivité, impatience
 D : Envie croissante et irrésistible de dormir
 E : Envie fréquente de boire et de manger
 F : Désorientation

G : Baisse de la communication verbale, silences
 H : Dégradation des verbalisations
 I : Ne plus supporter la fatigue
 J : Lenteur dans la compréhension
 K : faire beaucoup d'efforts pour rester attentif

Figure n°59 - Pourcentages de citations des manifestations de la fatigue identifiées pour soi-même

Pour les manifestations de la fatigue identifiées chez les coéquipiers (figure n°60), les PNT déclarent "les baisses de la communication" ($\text{Chi}^2 = 23,771$; ddl = 1 ; $p < 0,001$), "les lenteurs de compréhension" ($\text{Chi}^2 = 10,675$; ddl = 1 ; $p < 0,01$). Les PNC quant à eux déclarent que leurs collègues ont plus de "manifestations physiques" ($\text{Chi}^2 = 17,255$; ddl = 1 ; $p < 0,001$) et une "envie fréquente de boire et de manger" ($\text{Chi}^2 = 9,602$; ddl = 1 ; $p < 0,01$).

Pourcentage de citations



A : Manifestations physiques (dos, tête, yeux, mauvaise mine, jambe)
 B : Perte d'intérêt et de motivation, perte de disponibilité
 C : Irritabilité, agressivité, impatience
 D : Envie croissante et irrésistible de dormir
 E : Envie fréquente de boire et de manger
 F : Désorientation
 G : Baisse de la communication verbale, silences
 H : Dégradation des verbalisations
 I : Ne plus supporter la fatigue
 J : Lenteur dans la compréhension
 K : faire beaucoup d'efforts pour rester attentif

Figure n°60 - Fonction et pourcentage de citations des manifestations de la fatigue chez les collègues

La comparaison pour les PNT, des pourcentages de citations des manifestations de la fatigue chez eux à ceux des manifestations de la fatigue chez leurs collègues, montre des différences significatives pour :

- les manifestations physiques citées à 35,5% chez eux et à 22,2% chez les collègues ($\text{Chi}^2 = 10,751$; ddl = 1 ; $p < 0,01$),
- la perte d'intérêt et de motivation, perte de disponibilité, 29,3% chez eux et 52,7% chez les collègues ($\text{Chi}^2 = 28,290$; ddl = 1 ; $p < 0,001$),
- l'envie fréquente de boire et de manger, 8,1% chez eux et 3,7% chez les collègues ($\text{Chi}^2 = 4,328$; ddl = 1 ; $p < 0,05$),
- la baisse de la communication verbale, silence, 24,7% chez eux et 40,3% chez leurs collègues ($\text{Chi}^2 = 13,993$; ddl = 1 ; $p < 0,001$),
- faire beaucoup d'efforts pour rester attentifs, 30,1% chez eux et 10,7% chez les collègues ($\text{Chi}^2 = 28,776$; ddl = 1 ; $p < 0,001$).

Ces résultats corroborent des études précédentes du LAA (Bourgeois-Bougrine et coll., 2003) qui montrent une forte dissociation entre les manifestations de la fatigue identifiées pour soi-même plutôt orientées vers des manifestations physiologiques et celles identifiées pour les collègues davantage

associées à la communication et aux performances.

La comparaison pour les PNC, des pourcentages de citations des manifestations de la fatigue chez eux à ceux des manifestations de la fatigue chez leurs collègues, montre des différences significatives pour :

- la perte d'intérêt et de motivation, perte de disponibilité, 24,4% chez eux et 48,4 % chez les collègues ($\text{Chi}^2 = 19,514$; ddl = 1 ; $p < 0,001$),
- la baisse de la communication verbale, silence, 5,0% chez eux et 17,0% chez leurs collègues ($\text{Chi}^2 = 11,619$; ddl = 1 ; $p < 0,001$),
- dégradation des verbalisations (phrases incomplètes, lapsus), 15,6% chez eux et 5,9% chez les collègues ($\text{Chi}^2 = 7,667$; ddl = 1 ; $p < 0,01$),
- faire beaucoup d'efforts pour rester attentifs, 20,0% chez eux et 9,2% chez les collègues ($\text{Chi}^2 = 7,344$; ddl = 1 ; $p < 0,01$).

5.1.4.10 - Stratégies de gestion du repos, du travail et des activités

Les PNC sont ceux qui ont le plus recours à des stratégies orientées sur la gestion des repos (figure n°61). Ils sont 75,8 % à déclarer comme stratégie « faire une bonne nuit de sommeil » contre 61,5% des PNT ($\text{Chi}^2 = 9,15$; ddl = 1 ; $p < 0,01$), 70,8% des PNC pratiquent la sieste contre 59,9% des PNT ($\text{Chi}^2 = 5,098$; ddl = 1 ; $p < 0,05$) et 39,8% des PNC déclarent dormir dès que possible de jour comme de nuit contre 29,6% des PNT ($\text{Chi}^2 = 4,605$; ddl = 1 ; $p < 0,05$).

Pour la gestion du travail (cf figure n°62), les PNT sont significativement plus nombreux à déclarer « anticiper du mieux possible » ($\text{Chi}^2 = 12,314$; ddl = 1 ; $p < 0,001$), à « s'organiser de manière explicite avec le coéquipier » ($\text{Chi}^2 = 7,628$; ddl = 1 ; $p < 0,01$) et « à préparer la veille les vols uniquement « peu familiers » » ($\text{Chi}^2 = 7,25$; ddl = 1 ; $p < 0,01$). Les PNC quant à eux sont plus nombreux significativement à « stimuler les collègues » ($\text{Chi}^2 = 5,158$; ddl = 1 ; $p < 0,05$), à « trouver une activité à tout prix » ($\text{Chi}^2 = 7,143$; ddl = 1 ; $p < 0,01$) et à « préparer de manière systématique le vol la veille du départ » ($\text{Chi}^2 = 46,706$; ddl = 1 ; $p < 0,001$).

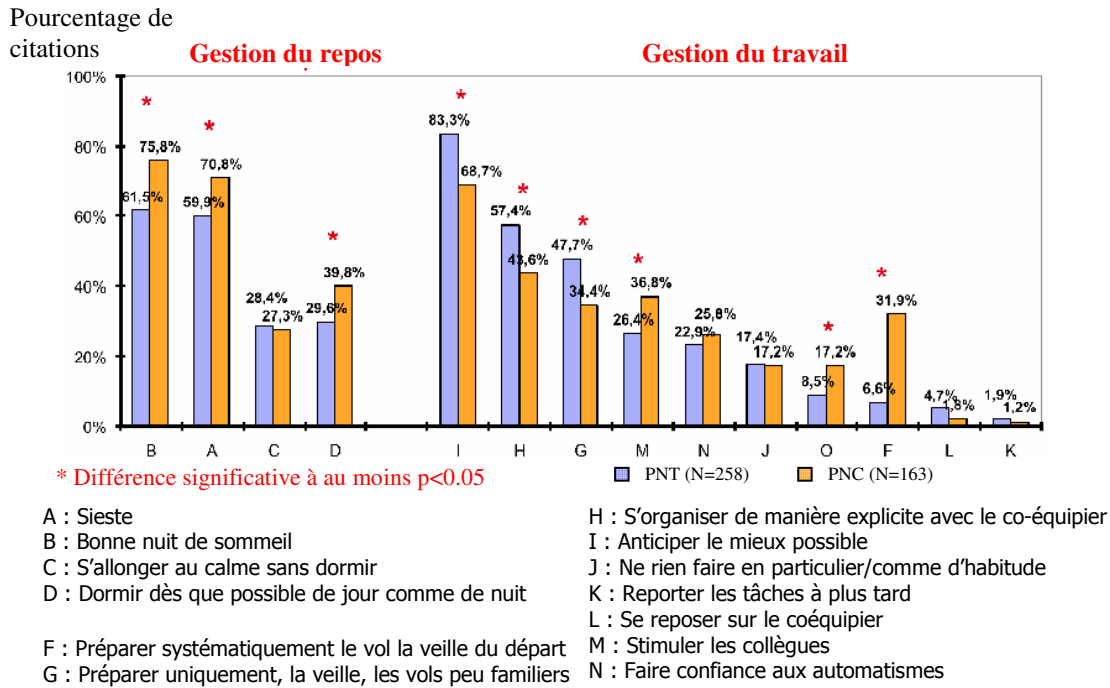
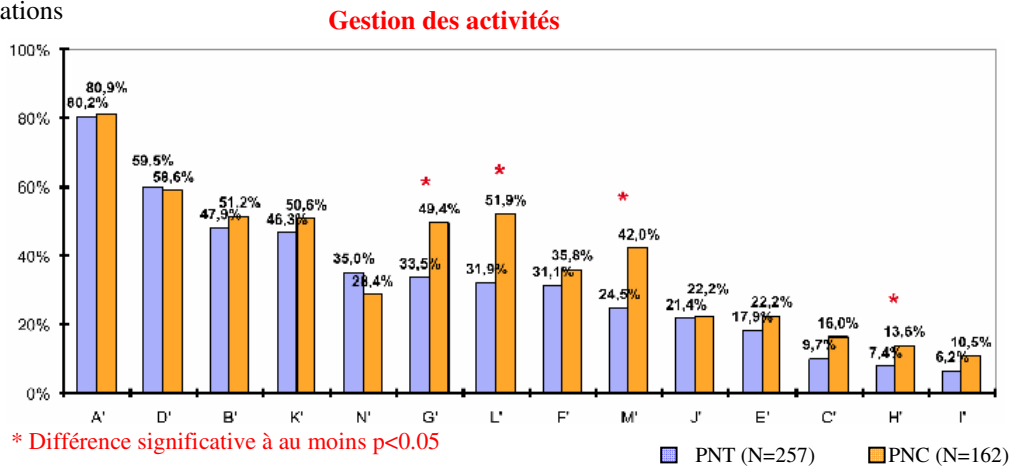


Figure n°61 - Pourcentage de citations des stratégies de gestion du repos et du travail pour les PNT et PNC

Concernant la gestion des activités (figure n°62), les PNC regardent significativement « plus la télévision » ($\text{Chi}^2 = 10,527$; ddl = 1 ; $p < 0,01$), sont plus nombreux « à ne rien faire de particulier », « rester tranquille » ($\text{Chi}^2 = 16,524$; ddl = 1 ; $p < 0,001$), à « ne pas penser au travail » ($\text{Chi}^2 = 14,098$; ddl = 1 ; $p < 0,01$) et à « fumer » ($\text{Chi}^2 = 4,309$; ddl = 1 ; $p < 0,05$) que les PNT.

Pourcentage de citations



A' : Éviter les soirées tardives la veille d'un service
 B' : Se divertir pour décompresser
 C' : Sortir avec les collègues
 D' : Faire du sport
 E' : Exercice de relaxation/assouplissement
 F' : Marcher
 G' : Regarder la TV

H' : Fumer
 I' : Prises de boissons alcoolisées (vin, bière, ...)
 J' : Prises de café, thé, coca
 K' : Bien s'organiser
 L' : Ne rien faire de particulier, rester tranquille
 M' : Ne pas penser au travail
 N' : Autre activités de loisir, association

Figure n°62 - Pourcentage de citations des stratégies associées à la gestion des activités pour les PNT et PNC

5.1.4.11 - Baisses de la performance liées à la fatigue et baisses de performances les plus risquées -

Les baisses de performances liées à la fatigue (figure n°63) citées par plus de 60% des PNT sont :

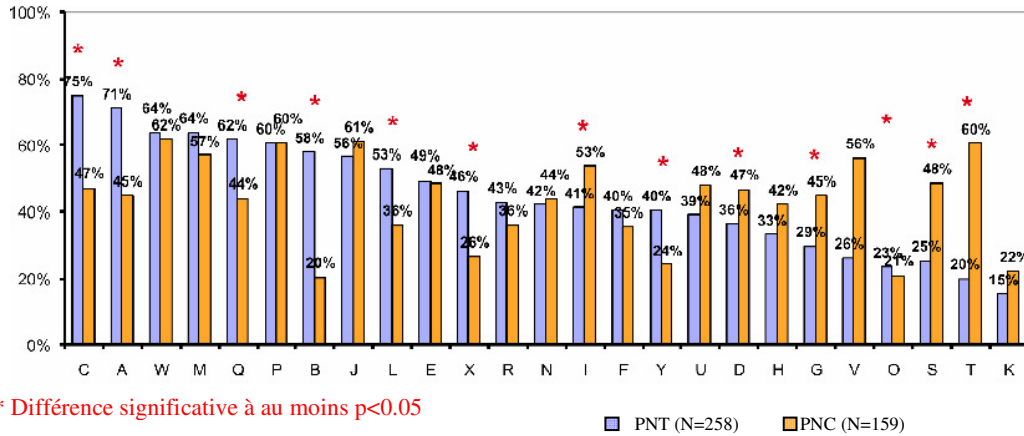
- les erreurs de manipulation de boutons (74,8%),
- la perte de l'anticipation « être derrière l'avion » (70,9%),
- les difficultés à se concentrer, (63,6%),
- croire que l'on a fait une vérification alors qu'on ne l'a pas faite, (63,6%),
- l'imprécision, le manque de rigueur (61,6%),
- l'oubli d'informations (60,5%).

Pour le PNC, il s'agit :

- des difficultés à se concentrer (61,6%),
- effectuer son travail de manière mécanique (61,0%),
- les oublis d'information (60,4%),
- « ne plus savoir où l'on est » (60,4%).

Le tableau des tests statistiques de comparaison entre les PNT et PNC est reporté en Annexe V5.

Pourcentage de citations



* Différence significative à au moins $p < 0.05$

■ PNT (N=258) ■ PNC (N=159)

A : Perte de l'anticipation, être « derrière l'avion »
 B : Focalisation sur un seul type de tâche
 C : Erreur de manipulation de boutons
 D : Perte des automatismes et des bons réflexes
 E : Faible tolérance aux changements
 F : Difficultés à prendre une décision
 G : Ne plus pouvoir gérer l'imprévu
 H : Perte de cohérence dans le raisonnement
 I : Difficulté à parler une langue étrangère

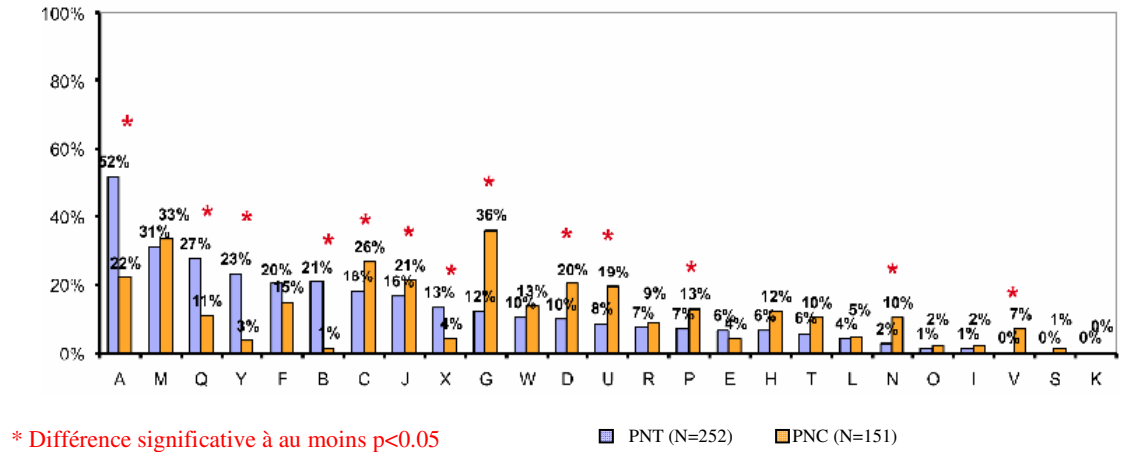
J : Effectuer son travail de manière mécanique
 K : Difficulté à lire et à écrire
 L : Erreurs de calcul
 M : Croire que l'on a fait une vérification alors que l'on ne l'a pas faite
 N : Lenteur des actions et des mouvements
 O : Difficultés d'estimation du temps
 P : Oublis d'information
 Q : Imprécision, manque de rigueur

R : Sauter une étape de travail
 S : Confusion des vols
 T : Ne plus savoir où on est
 U : Ne plus se sentir en possession de tous ses moyens
 V : Difficultés à assurer son rôle commercial
 W : Difficultés à se concentrer
 X : Réduction du sens critique
 Y : Tendance à ne plus remettre en question les décisions

Figure n°63 - Pourcentage de citations des baisses de performances liées à la fatigue pour les PNT et PNC

Les baisses de performances citées comme les plus risquées (figure n°64) par les PNT sont la perte de l'anticipation « être derrière l'avion » (51,6%) puis croire que l'on a fait une vérification alors qu'on ne l'a pas faite (31,0%). Les deux plus citées par les PNC sont ne plus pouvoir gérer l'imprévu (35,8%) et croire que l'on a fait une vérification alors qu'on ne l'a pas faite (33,1%). Les résultats statistiques de comparaison entre les pourcentages de citations des PNT et PNC figure en Annexe V5.

Pourcentage de citations



- | | | |
|--|---|---|
| A : Perte de l'anticipation, être « derrière l'avion » | J : Effectuer son travail de manière mécanique | R : Sauter une étape de travail |
| B : Focalisation sur un seul type de tâche | K : Difficulté à lire et à écrire | S : Confusion des vols |
| C : Erreur de manipulation de boutons | L : Erreurs de calcul | T : Ne plus savoir où on est |
| D : Perte des automatismes et des bons réflexes | M : Croire que l'on a fait une vérification alors que l'on ne l'a pas faite | U : Ne plus se sentir en possession de tous ses moyens |
| E : Faible tolérance aux changements | N : Lenteur des actions et des mouvements | V : Difficultés à assurer son rôle commercial |
| F : Difficultés à prendre une décision | O : Difficultés d'estimation du temps | W : Difficultés à se concentrer |
| G : Ne plus pouvoir gérer l'imprévu | P : Oublis d'information | X : Réduction du sens critique |
| H : Perte de cohérence dans le raisonnement | Q : Imprécision, manque de rigueur | Y : Tendence à ne plus remettre en question les décisions |
| I : Difficulté à parler une langue étrangère | | |

Figure n°64 - Fonction et pourcentage de citations des baisses de performances les plus risquées

On constate donc que les PN ont la conscience que la fatigue peut générer des effets assez précis sur leurs performances et le risque. Globalement, les secteurs les plus affectés semblent être les erreurs de manipulation, les processus attentionnels et l'anticipation.

5.1.4.12 - Santé et hygiène de vie -

Globalement, les troubles de l'humeur sont les plus cités par les PN. Les PNC sont les personnels déclarant le plus de troubles généraux de la santé (figure n°65) avec des différences significatives pour les baisses des défenses immunitaires ($\text{Chi}^2 = 5,232$; ddl = 1 ; $p < 0,05$), les troubles cardio-vasculaires ($\text{Chi}^2 = 4,663$; ddl = 1 ; $p < 0,05$), les troubles musculaires et articulaires ($\text{Chi}^2 = 4,19$; ddl = 1 ; $p < 0,05$) et les troubles de l'humeur ($\text{Chi}^2 = 3,929$; ddl = 1 ; $p < 0,05$).

Pourcentage de citations

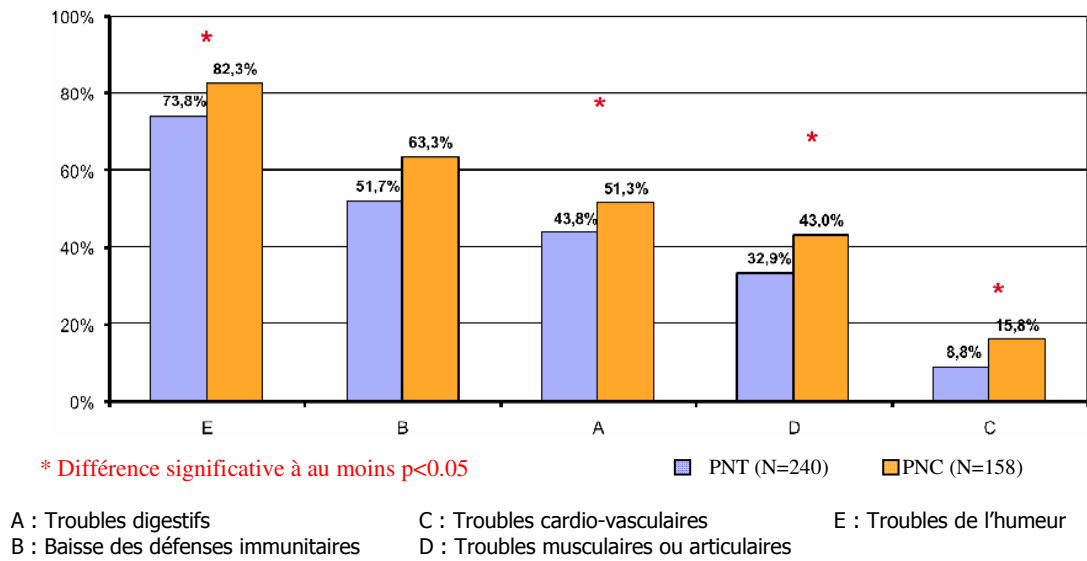
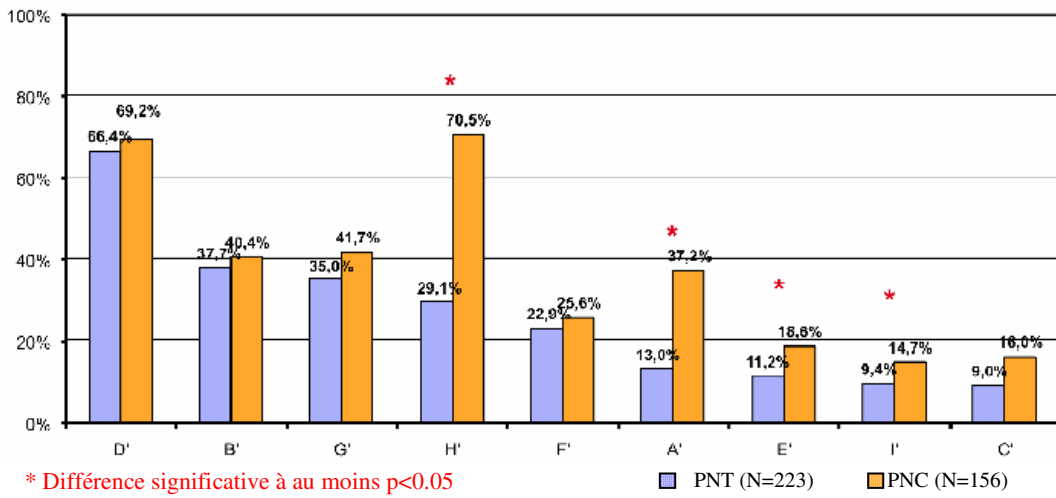


Figure n°65 - Pourcentage de citation pour les troubles généraux de la santé pour les PNT et les PNC

De même, ce sont les PNC qui présentent le plus de troubles spécifiques de la santé (figure n°66) avec des différences significatives pour les pieds gonflés ($\text{Chi}^2 = 30,332$; ddl = 1 ; $p < 0,001$), la perte de poids ($\text{Chi}^2 = 4,369$; ddl = 1 ; $p < 0,05$), les otites à répétition ($\text{Chi}^2 = 4,091$; ddl = 1 ; $p < 0,05$) et le mal aux jambes ($\text{Chi}^2 = 63,192$; ddl = 1 ; $p < 0,001$).

Pourcentage de citations



- | | | |
|---------------------|--------------------------|---------------------|
| A' : Pieds gonflés | D' : Mal de dos | G' : Migraines |
| B' : Prise de poids | E' : Otites à répétition | H' : Mal aux jambes |
| C' : Perte de poids | F' : Douleurs aux sinus | I' : Varices |

Figure n°66 - Pourcentage de citations pour les troubles spécifiques de la santé pour les PNT et les PNC

5.1.4.13 - Vie sociale et familiale -

Dans l'ensemble, les PNT sont plus nombreux que les PNC à citer des activités familiales et sociales comme pénalisées par leurs horaires de travail (figure n°67). Les différences sont significatives pour « partir en famille », 71% de citations chez les PNT contre 59,3% chez les PNC ($\chi^2 = 9,902$; ddl = 2 ; $p < 0,01$) et pour « partir en week-end » avec 70,2% des PNC contre 49,7% des PNC ($\chi^2 = 18,229$; ddl = 2 ; $p < 0,001$).

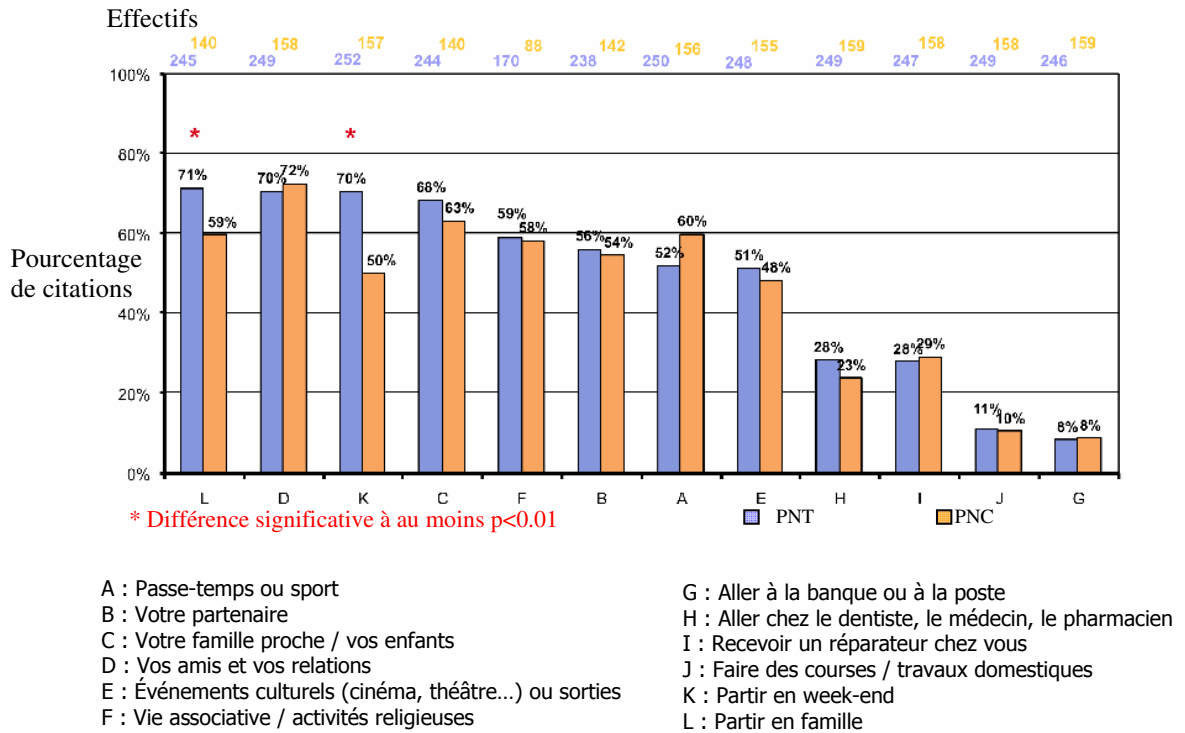


Figure n°67 - Pourcentage de citations des activités pénalisées par les horaires de travail pour les PNT et les PNC

Le sommeil est cité par 98,1% des PNC et 94% des PNT comme le domaine le plus pénalisé par les horaires de travail (figure n°69) suivi par la santé citée significativement plus par 87,7% des PNC contre 76,7% des PNT ($\chi^2 = 6,863$; ddl = 1 ; $p < 0,01$). Les PNC citent aussi significativement plus l'humeur comme pénalisée par les horaires ($\chi^2 = 7,059$; ddl = 1 ; $p < 0,01$). Les PNT quant à eux citent significativement plus la performance au travail comme pénalisée par les horaires ($\chi^2 = 4,682$; ddl = 1 ; $p < 0,05$). Ces différences sont vraisemblablement attribuables à la nature de l'activité.

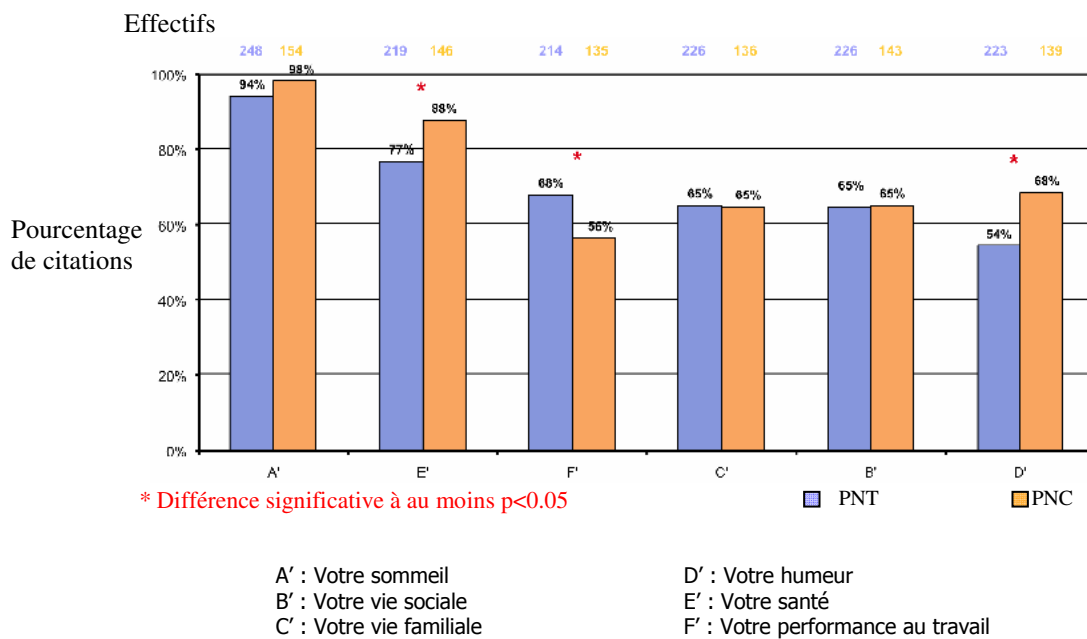
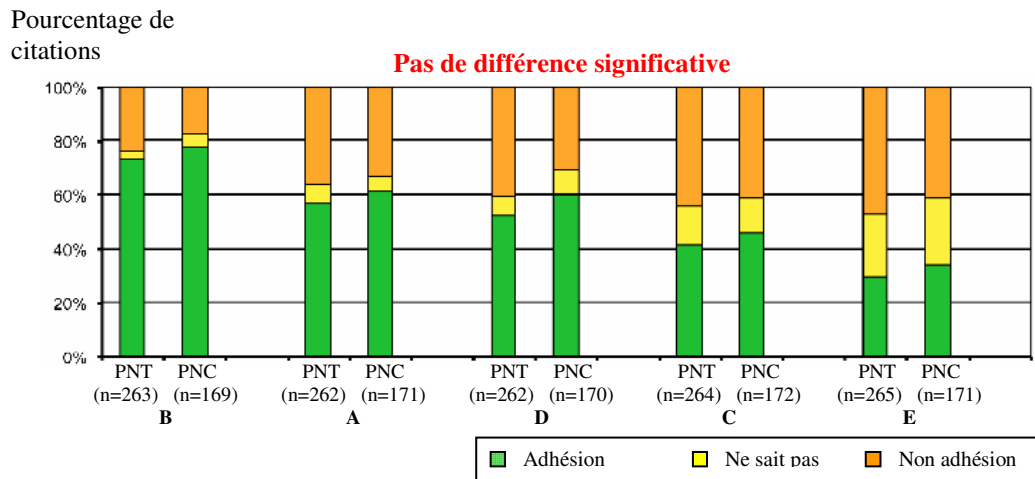


Figure n°68 - Fonction et pourcentage de citations des domaines pénalisés par les horaires de travail

5.1.4.14 – Echelles d'adhésion -

Rappelons que dans chaque rubrique du questionnaire une question portant sur la représentation des causes ou des conséquences de la fatigue était posée. La modalité de réponse à ces questions se présente sous la forme d'une échelle d'adhésion ("tout à fait d'accord" à ".pas d'accord du tout")

En ce qui concerne les déclarations concernant les aléas et la fatigue (figure n°69), on constate qu'environ 75% des PN adhèrent au fait que les aléas ont un impact importants sur leur état de fatigue, environ 58% estiment généralement bien gérer les aléas même en étant fatigués, environ 55% estiment fournir un effort important pour gérer les aléas. De plus, ils sont entre 40,9% des PNC et 47,2% des PNT à ne pas adhérer au fait qu'ils ont reçu la formation adéquate pour gérer tous les types d'aléas.

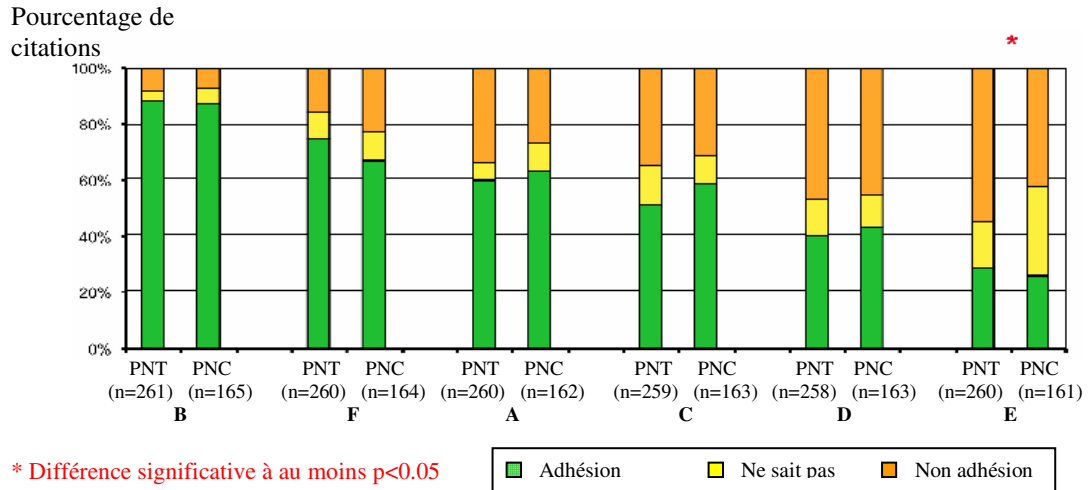


- A : Je gère généralement bien les aléas même en étant fatigué
- B : Les aléas ont un impact important sur mon état de fatigue
- C : Les difficultés relationnelles impactent davantage mon état de fatigue que les aléas d'ordre technique ou environnemental
- D : Je fournis un effort important pour gérer les aléas
- E : J'ai reçu la formation adéquate pour gérer tous les types d'aléas

Figure n°69 – Représentation de l'impact des aléas sur la fatigue

Pour les conditions de travail et la fatigue (figure n°70), on note une différence significative, les PNT sont plus nombreux, 55% contre 42,9% des PNC, à déclarer que leurs conditions de travail ne se sont pas globalement améliorées ($\text{Chi}^2 = 12,753$; $\text{ddl} = 2$; $p < 0,01$).

De plus, environ 88% des PN adhèrent au fait que les conditions de travail ont un impact important sur leur état de fatigue, environ 70% que ce sont les horaires de travail qui contribuent le plus à leur fatigue.



- A : Je me suis habitué(e) aux conditions de travail
- B : Les conditions de travail ont un impact important sur mon état de fatigue
- C : Les contraintes physiques impactent davantage mon état de fatigue que les contraintes d'ordre mental ou relationnel
- D : Je ne supporte plus certaines de mes conditions de travail
- E : Mes conditions de travail se sont globalement améliorées
- F : Dans mon métier, je pense que ce sont les horaires de travail qui contribuent le plus à ma fatigue

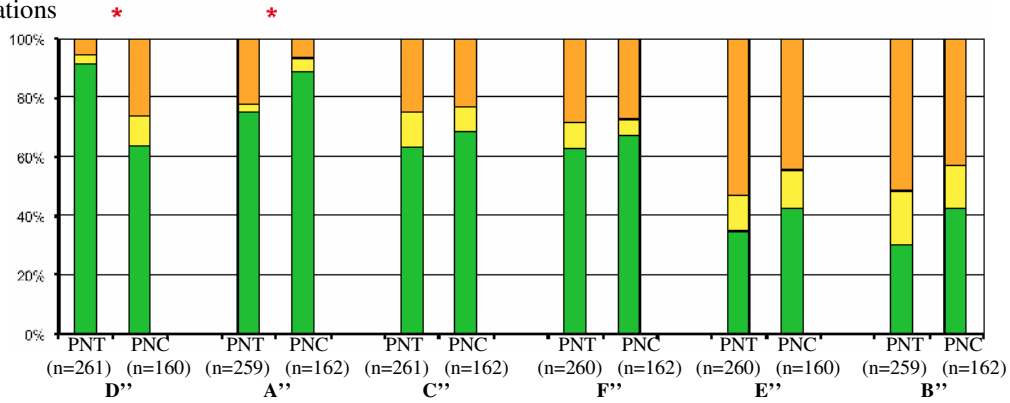
Figure n°70 - Représentation concernant les conditions de travail et la fatigue

Pour les manifestations (figure n°71), on note des différences significatives. Il est intéressant de noter que les PNT sont plus nombreux, 91,2% contre 63,8% des PNC, à déclarer qu'ils leurs arrivent en cas de fatigue extrême de prévenir leur coéquipier ($\text{Chi}^2 = 48,412$; $\text{ddl} = 2$; $p < 0,001$). Les PNC sont plus nombreux, 88,9% contre 74,9% des PNT, à déclarer savoir tout de suite s sont fatigués ou pas ($\text{Chi}^2=18,018$; $\text{ddl} = 2$; $p < 0,001$),

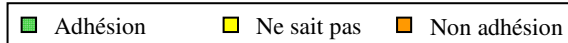
De plus, environ 50% des PN n'adhèrent pas déclarations suivantes:

- « généralement lorsque l'un est fatigué, l'autre l'est aussi. Il n'y a pas grand chose à faire »,
- « même en étant fatigué (e), je contrôle bien la situation ».

Pourcentage de citations



* Différence significative à au moins $p < 0.05$



- A'' : Je sais tout de suite si je suis fatigué ou pas
- B'' : Même en étant fatigué, je contrôle bien la situation
- C'' : Je connais bien mes limites
- D'' : Il m'arrive en cas de fatigue extrême d'avertir mon coéquipier
- E'' : Généralement, lorsque l'un est fatigué, l'autre l'est aussi. Il n'y a pas grand-chose à faire
- F'' : Je m'inquiète parfois de mon état de fatigue

Figure n°71 - Représentation concernant les manifestations de la fatigue

Pour les stratégies de gestion de la fatigue et du sommeil (figure n°72), on note des différences significatives. Les PNT sont plus nombreux, 66,8% contre 53,5% des PNC, à déclarer que « l'utilisation de stratégies pour gérer la fatigue fait partie intégrante du métier ($\chi^2 = 7,351$; ddl = 2 ; $p < 0,05$). Les PNC sont plus nombreux, 74,7% contre 58,8% des PNT, à ne pas adhérer au fait que « le stress est bénéfique dans cette profession » ($\chi^2=1,176$; ddl = 2 ; $p < 0,01$),

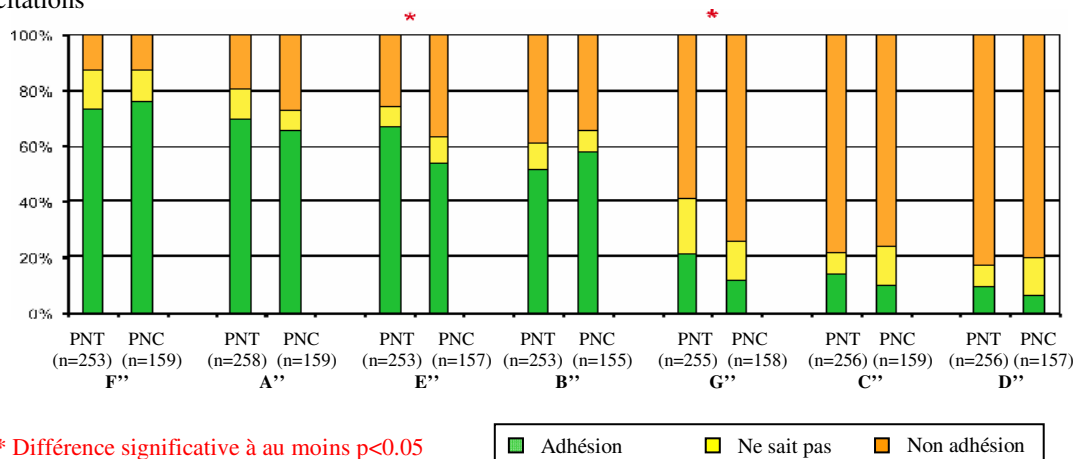
De plus, environ 70% des PN adhèrent aux déclarations suivantes:

- « avec l'âge on supporte moins bien les horaires décalés»,
- « l'expérience nous permet de connaître les bonnes stratégies en matière de gestion de la fatigue».

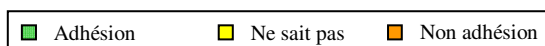
Enfin, environ 80% des PN n'adhèrent pas aux déclarations suivantes:

- « Nous sommes correctement sensibilisés par notre compagnie aux problèmes de la fatigue et aux moyens de la gérer »,
- « les procédures actuelles intègrent suffisamment les conséquences potentielles liées à la fatigue ».

Pourcentage de citations



* Différence significative à au moins $p < 0.05$



- A'' : L'expérience nous permet de connaître les bonnes stratégies en matière de gestion de la fatigue
- B'' : Nous partageons nos stratégies personnelles au sein de l'équipage
- C'' : Nous sommes correctement sensibilisés par notre compagnie aux problèmes de fatigue et aux moyens de la gérer
- D'' : Les procédures actuelles intègrent suffisamment les conséquences potentielles liées à la fatigue
- E'' : L'utilisation de stratégies pour gérer la fatigue fait partie intégrante du métier
- F'' : Le stress est bénéfique dans cette profession

Figure n°72 - Représentation concernant les stratégies de gestion de la fatigue et du sommeil

En ce qui concerne les avis sur les risques liés à la fatigue et leur impact sur la sécurité des vols et la qualité des services (figure n°73), on note des différences significatives entre les PNT et les PNC, elles sont dues à une plus grande part de PNC ayant répondu « ne sait pas ».

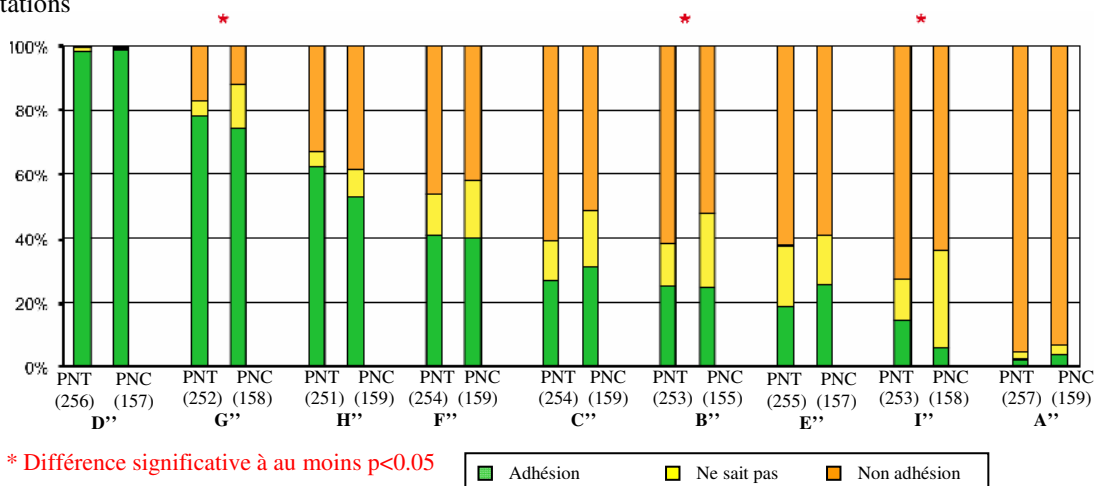
Environ 98% des PN pensent qu'il ne faut pas minimiser les risques liés à la fatigue et environ 75% qu'ils aimeraient être mieux informés sur la gestion de la fatigue.

Plus de 90% des PN ne sont pas d'accord avec l'affirmation selon laquelle « les conséquences liées à la fatigue sont minimales sur notre travail ».

Entre 50 et 70% des PN ne sont pas d'accord avec les affirmations suivantes:

- « les conséquences liées à la fatigue impactent davantage notre santé plutôt que la sécurité des vols »,
- « les erreurs sont toujours récupérées à temps »,
- « j'ai toujours des ressources en moi pour contrer la fatigue »,
- « l'avion comprend suffisamment de filets de sauvegarde pour nous indiquer l'état réel du système ».

Pourcentage de citations



- A'' : Les conséquences liées à la fatigue sont minimales sur notre travail
- B'' : Les erreurs sont toujours récupérées à temps
- C'' : Les conséquences liées à la fatigue impactent davantage notre santé que la sécurité des vols
- D'' : Il ne faut jamais minimiser les risques liés à la fatigue
- E'' : J'ai toujours des ressources en moi pour contrer la fatigue
- F'' : Je ne connais pas bien les mécanismes de la fatigue
- G'' : J'aimerais être mieux informé sur la gestion de la fatigue
- H'' : Il est difficile de prendre conscience de son état de fatigue et de son impact réel sur notre activité

Figure n°73 - Représentation de l'impact de la fatigue sur la sécurité des vols et la qualité de services

5.1.5 Synthèse des résultats

Au total, les résultats de l'enquête par questionnaire menée dans le cadre du projet STARE ont permis de mettre en évidence les principaux résultats suivants :

- 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 et 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.

L'intérêt de ces résultats vis-à-vis du SGS-RF concerne l'utilisation de l'enquête comme indicateur de suivi pour l'organisation. Cet outil permet en particulier d'évaluer au cours du temps la perception des PN vis-à-vis des

conditions et de l'organisation du travail. Ceci peut s'avérer particulièrement important à la suite d'un changement de l'exploitation comme par exemple l'ouverture d'une nouvelle ligne. L'enquête permet de se doter d'un tableau de bord permettant de vérifier en particulier l'acceptation de ces changements ce qui constitue un élément essentiel dans le développement de la fatigue et de sa gestion par les PN.

L'autre intérêt des enquêtes de ce type concerne la sensibilisation et la formation des PN aux risques liés à la fatigue et à sa gestion de la fatigue. En effet, à partir des résultats il est possible de mieux cerner les représentations, les connaissances et les difficultés de la de la population PN vis-à-vis de ce sujet et d'élaborer les programmes de formation adaptés.

5.2 - Recueil de données au cours des rotations -

5.2.1 - Objectifs -

Le recueil de données au cours des rotations a des objectifs complémentaires à l'analyse chronobiologique et à l'enquête. Il a pour but :

- d'évaluer, au cours de vols, l'intensité de la fatigue des PN et des manifestations qui lui sont associées,
- d'identifier des facteurs de modulation de la fatigue associés à l'activité et son environnement autres que les horaires de travail,
- d'appréhender l'impact de la fatigue sur l'activité des PN,
- d'identifier les principales stratégies de réduction de la fatigue ou de gestion du risque mises en œuvre par les PN,
- d'évaluer la conscience de la fatigue par les PN.

5.2.2 - Méthode de recueil de données -

5.2.2.1 - Protocole -

Afin d'étudier les impacts de la fatigue sur le comportement des PN, l'observation en vol était initialement prévue pour des rotations associées à un risque faible et à un risque élevé de fatigue afin de permettre des comparaisons. Compte tenu des contraintes d'organisation, il a été nécessaire d'optimiser le recueil des données et de privilégier des rotations avec un risque plus élevé de fatigue telles que les rotations 3/1 fractionné (3 étapes en fractionné le 1^{er} jour – repos réduit - 1 étape le 2^{ème} jour), 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). Ce choix permet néanmoins de réaliser des comparaisons, les premiers vols d'après-midi des rotations pouvant être considérés comme des références associés à un risque faible de fatigue.

Au total, 60 rotations devaient faire l'objet des observations. Les deux populations de PN ont été étudiées en termes de vécu des horaires mais l'observation directe n'a concerné que les PNT. Pour des raisons pratiques, l'observation directe des PNC n'était pas possible (difficultés liées à la présence de l'observateur en cabine) et a été compensée par des entretiens réalisés aux escales. En outre, les PNC ont pu renseigner certains formulaires au cours des vols. Ces observations ont été réalisées par le LAA et SynRjy.

Afin d'augmenter l'échantillon de PN observés, il a été décidé au cours du projet, de lancer une campagne de recueil de mesures d'auto-observation basée sur les outils proches de ceux utilisés lors de la campagne d'observations. Le LAA a été en charge de la diffusion et du traitement de ces questionnaires.

5.2.2.2 - Recueil des données -

Les observations comportent deux phases essentielles :

- le suivi du sommeil et de la fatigue à l'aide d'un actomètre et d'un agenda de sommeil (annexe A) pendant une période de 12 jours qui encadre l'observation en vol. Ce suivi doit permettre d'évaluer les conséquences des rotations sur le sommeil et d'interpréter les observations faites lors des journées d'observation en vol,
- le recueil de données au cours d'une rotation avec repos réduit ou d'une journée de service, pour observer les facteurs susceptibles de générer de la fatigue et l'impact de la fatigue sur l'activité (figure n°74).

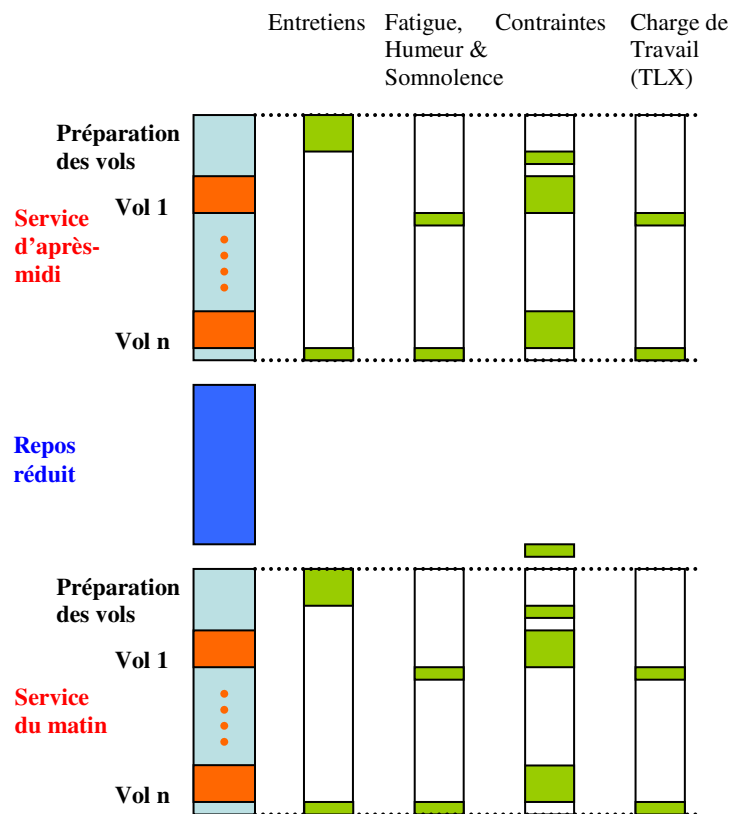


Figure n°74.
Schéma du déroulement du recueil des données pendant les accompagnements –
Exemple de deux services successifs séparés par un repos réduit
(rotation avec repos réduit).

5.2.2.2.1 - Habitudes de sommeil -

Afin de pouvoir interpréter les données recueillies, la typologie circadienne (tendance à la matinalité ou à la vespéralité) des habitudes de sommeil des PN participants sont évaluées au travers du questionnaire de Horne et Östberg (1976) (cf. annexe A).

5.2.2.2.2 - Durée et qualité du sommeil -

La durée et la qualité du sommeil sont évaluées grâce à un agenda de sommeil et à un actomètre. L'agenda de sommeil se compose de trois parties :

- un questionnaire sur le sommeil à remplir au coucher et au réveil en indiquant le lieu, l'heure, la latence d'endormissement, la quantité et la durée des réveils pendant le sommeil, la quantité et la durée des siestes ainsi que les prises de médicaments. Le PN doit aussi renseigner des échelles de somnolence, de fatigue et estimer la qualité de ses sommeils,
- un agenda d'activité à remplir en début et en fin de service en précisant les horaires de travail, les lieux de prise et de fin de service, la caractérisation des différentes étapes, les durées des trajets pour se rendre au travail et en revenir. Le PN doit aussi renseigner des échelles de fatigue et préciser la quantité et les horaires de survenue de « coups de pompe »,
- une partie consacrée à l'alimentation quotidienne. Le PN doit indiquer la quantité et la qualité des repas (repas complet, sandwich) ainsi que les boissons consommées et en particulier les horaires de prises de boissons alcoolisées ou contenant de la caféine.

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, qui ressemble à une montre, 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 (Actiwatch Sleep Analysis 98) comportant un algorithme validé sur le plan de la détection du sommeil (figure n°75).

L'analyse des données de l'agenda nécessite une vérification des informations indiquées par le PN et une mise en concordance des données de l'agenda sur le sommeil avec les données issues de l'actométrie. Ainsi, des graphes dits « individuels » sont édités afin de standardiser l'information et de

visuellement permettre les vérifications et corrections nécessaires. Ces graphes et des graphes portant sur les résultats de l'observation en vol, sont ensuite analysés, commentés et envoyés individuellement aux PN. Des exemples de graphes issus des données des agendas sont présentés en Annexe Ab.

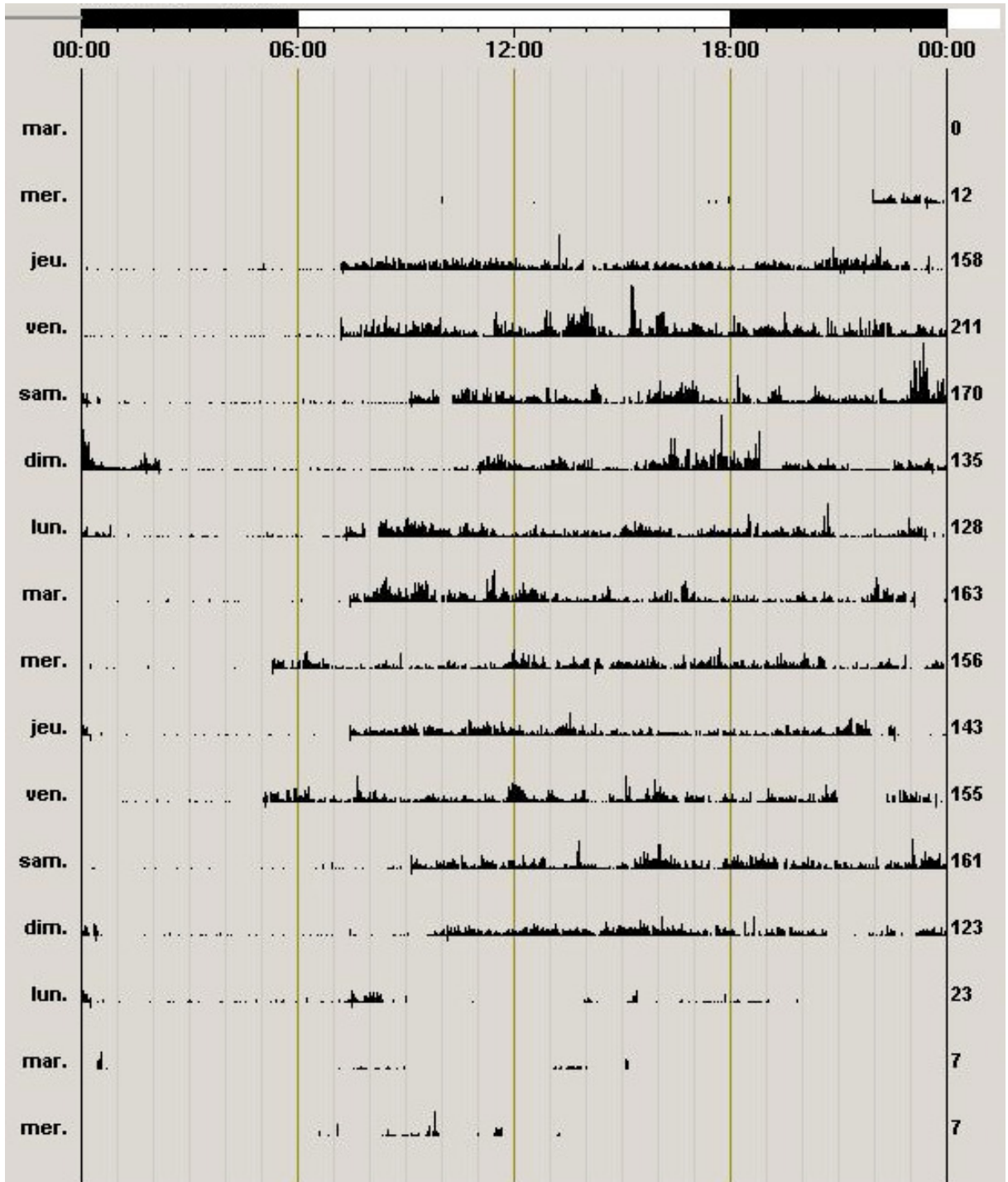


Figure n°75.
Capture d'écran d'un enregistrement d'actomètre pour un PN.

5.2.2.2.3 - Fatigue et charge de travail au cours de l'activité -

La fatigue et la charge de travail sont évaluées grâce aux observations réalisées par l'observateur pendant les accompagnements et grâce aux évaluations subjectives de chacun des PN.

- Les observations en vol

Une première grille d'observation a été utilisée lors des premières observations. Cette grille comporte 3 parties :

- Déroulé chronologique du vol,
- Facteurs générateurs de charge de travail et de fatigue survenant au cours du vol,
- Critères d'observations de l'activité de l'équipage au cours du vol et éléments de débriefing.

Suite à son utilisation, une réflexion a été menée pour la faire évoluer. Elle a abouti :

- Au maintien du déroulé chronologique du vol (annexe B),
- A l'intégration d'un questionnaire d'observations sur les conditions du jour (météo, trafic, état du matériel, etc) et les facteurs aléatoires ayant un impact sur le déroulement du service (annexe C),
- A l'intégration de facteurs de « contraintes » dans l'évaluation subjective pour chaque vol.

- Les mesures subjectives (échelles)

Les mesures subjectives sont réalisées par l'intermédiaire d'échelles ou de réponses à choix multiple. La passation des échelles s'effectue avant, pendant et après le service. Les échelles utilisées sont les suivantes :

- La Somnolence : la Karolinska Sleepiness Scale (KSS) (Åkerstedt & Gillberg, 1990). Le PN doit évaluer sa somnolence en donnant un chiffre entre 1 et 9 (1. Extrêmement éveillé ; 9. Très somnolent, grand effort pour se maintenir éveillé, combat le sommeil),
- La fatigue. Le PN doit indiquer sur un axe horizontal son niveau de fatigue entre deux niveaux extrêmes « Fatigué » et « Reposé »,
- Les manifestations de la fatigue et l'humeur. (Cabon et coll., 1999). Le PN doit apprécier ses niveaux de fatigue mentale, sensorielle et physique ainsi que son irritabilité, son impatience (de nul à très élevé),

- La charge de travail : NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988). Le PN note de 1 à 10 l’effort mental, l’effort physique et l’effort global fourni, la pression temporelle ainsi que son niveau de performance et de frustration pendant le dernier trajet effectué.

A la suite de premières observations, une évolution des grilles de recueil de données a pu être réalisée en particulier pour prendre en compte l’ensemble des facteurs de contraintes (ex : météo, pannes, ATC,...) susceptibles d’augmenter le niveau de fatigue. Ainsi, lors de la préparation des vols, lors de la phase de transfert à l’avion, pour chaque phase du vol et après le « Night stop », il a été demandé aux PN de spécifier :

- le niveau de contrainte ressenti,
- la ou les contraintes qui ont contribué à l’augmentation du niveau de fatigue.

Le tableau 40 présente les différentes phases de vol qui ont été spécifiées pour le recueil des données de contraintes.

PNT	PNC
Préparation du vol à l’avion	Préparation de l’avion
Roulage au départ	Embarquement des passagers
Décollage - TOC	Décollage – Montée initiale
Croisière	Fin de montée - croisière
Descente, approche et atterrissage	Descente, atterrissage et roulage
Roulage à l’arrivée	Débarquement des passagers

Tableau 40 – Phases de vol définies pour le recueil de données de contraintes.

Lors de la préparation des vols au début de la rotation, l’observateur avait en charge de distribuer un fascicule regroupant toutes les échelles et d’expliquer aux PN le déroulement des différentes étapes du recueil de données (cf. figure n°76). Un exemple de fascicule simplifié (pour une seule étape) est présenté en annexe D1 pour les PNT et en annexe D2 pour les PNC.

Les facteurs de contraintes pouvant faire l’objet d’une autoévaluation de la part des PN, ce questionnaire, associé aux échelles d’évaluation de fatigue et de somnolence utilisées pendant les observations a été diffusé à un large échantillon de PN. Comme lors des observations en vol, ce questionnaire devait être rempli à

la fin de chaque étape. Ce questionnaire, très bien accepté par les PN pourrait servir de base à de futurs outils de recueil de données intégrés au SGS-RF. Après discussion avec les compagnies, il a été convenu que ces questionnaires seraient récupérés à partir du dossier de vol dans le cadre du recueil d'information de cette étude.

5.2.3 - Hypothèses de travail -

Par rapport à l'analyse chronobiologique des plannings, les observations en vol doivent permettre d'approfondir deux questions :

- l'impact de l'environnement, des horaires de service et de l'activité sur la fatigue,
- l'impact de la fatigue sur l'activité.

Rappelons que l'objectif de ce recueil de données en vol est également d'évaluer l'utilité et l'utilisabilité de ces méthodologies dans le cadre d'un futur SGS-RF.

5.2.3.1 - Impact de l'environnement, des horaires de service et de l'activité sur la fatigue -

On peut s'attendre à ce que les périodes de monotonie favorisent la survenue d'épisodes d'hypovigilance. Les moments où l'activité du PNT diminue (en croisière) ou quand le PNC est en attente (décollage ou fin de descente), sont susceptibles de provoquer de la monotonie et donc une dégradation du niveau de vigilance.

Les périodes nécessitant une vigilance accrue sont susceptibles de générer une fatigue importante. Les conditions météorologiques ainsi que certaines phases de vol sont étudiées dans cette perspective.

Un certain nombre d'éléments contextuels liés à l'activité et aux horaires peuvent provoquer une dégradation des performances induite par un état de fatigue accrue. Les horaires de service, la durée du trajet du domicile au lieu de travail, la durée du service, le nombre de vols consécutifs, l'état de l'avion, les retards, les incidents techniques sont autant d'éléments pouvant provoquer de la

fatigue. Les scores aux échelles de fatigue et de somnolence devraient être plus élevés lorsque le PN sera soumis à ces facteurs.

Le type de service (matin, jour, succession de services du matin, services fractionnés) devrait provoquer des niveaux différents de fatigue. Les services du matin précédés d'un repos réduit devraient entraîner une fatigue plus grande (scores aux échelles de somnolence et de fatigue plus élevés). Par ailleurs, il est attendu que la fatigue du PN augmente plus pendant les rotations 5/3 que pendant les rotations 3/3 voire 3/1 en raison d'une augmentation de la pression temporelle et de la charge de travail.

5.2.3.2 - *Impact de la fatigue sur l'activité* -

On peut s'attendre à ce que la fatigue provoque une modification de l'activité des PN. Ainsi, il est probable d'observer une augmentation des écarts (oublis, confusions, difficultés de calcul... etc), une augmentation du nombre de gestes autocentrés, de bâillements, de changements de posture, ainsi que des variations de l'humeur quand le PN est fatigué.

On s'attend par ailleurs à observer un plus grand nombre de stratégies développées par les PN quand ceux-ci sont fatigués et particulièrement une utilisation des systèmes d'aides comme barrières de sécurité.

5.2.4 - Bilan des données -

Pendant la période d'août 2008 à août 2009, 49 accompagnements ont fait l'objet d'un recueil de données et d'observations de l'activité des PN en service (tableau 41). Le détail du planning est présenté en annexe E. Pour des raisons d'organisation, six rotations ont été annulées. Il est à noter qu'une majorité de ces rotations a été réalisée avec Compagnie X et Compagnie Y.

Compagnies	Nombre d'accompagnements
COMPAGNIE X	19
COMPAGNIE Y	18
COMPAGNIE Z	12
Global	49

Tableau 41
Nombre d'accompagnements réalisés par compagnie.

Le LAA était en charge de la mise en place de ces accompagnements concernant :

- la coordination entre le planning des accompagnateurs, les compagnies et les PN observés,
- la spécification des choix de rotation en fonction des rotations déjà effectuées,
- l'organisation des vols (billets, édition des documents de recueil de données),
- l'organisation des envois d'actomètres et d'agendas auprès des PN concernés.

Il est à noter que de manière à rendre le recueil de données le plus homogène possible, le consortium a demandé aux compagnies de pouvoir observer des PN ayant eu un planning à peu près équivalent dans les jours précédant l'observation. Comme cela a déjà été mentionné, le consortium a privilégié les observations au cours de rotations comportant des repos réduits et des services fractionnés. Le tableau 42 présente la répartition des accompagnements effectués par type de rotation. Les rotations 3/3 et 5/3 effectuées représentent les deux tiers de la totalité des accompagnements, les services avec repos réduit 88%, et les services fractionnés 12% (32% des rotations effectuées avec la compagnie Compagnie X). La différence entre les rotations prévues et effectuées est liée au déroulement des vols et aux éventuels problèmes rencontrés (incidents techniques, vols annulés, mesures de sûreté contraignantes).

Type de rotation	Planifié	Effectué
2 vols en fractionné	1	1
Service avec 4 vols et grande amplitude	2	2
Service avec 4 vols	1	1
Rotation 1/3	1	1
Rotation 3 fractionné / 1	5	5
Rotation 3/1	2	4
Rotation 3/3	22	19
Rotation 5/3	15	14
Rotation 5/1	0	1
Service réduit à 1 vol (problèmes techniques)	0	1
Global	49	49

Tableau 42
Répartition des accompagnements par type de rotation.

Au total, 126 PN (75 PNT et 51 PNC) ont été volontaires pour être observés en vol. Un quart d'entre eux ont été observés 2 ou 3 fois et cette proportion diffère entre les trois compagnies. Elle reste faible pour la compagnie X (6,2%) et s'avère plus importante pour Y (37,2%) et Z (57,1%). Cette répartition est différente de celle ayant répondu à l'enquête par questionnaire.

Des personnels non volontaires (très souvent des PNC non informés de l'étude) ont toutefois accepté en début de rotation de participer à l'étude et ont rempli les différentes échelles pendant les vols. Par conséquent, l'équivalent de 158 observations ont été réalisées soit 100 observations pour les PNT et 58 observations pour les PNC.

Concernant les agendas, l'échantillon important de données recueillies révèle la rigueur et l'intérêt des PN volontaires à participer à l'étude tels que le reflètent le taux de retour de 94% (tableau 43) et le taux de remplissage des journées de 97%. Il convient toutefois de noter que le taux de retour diffère entre les PNT et les PNC (100% contre 82%).

Fonction	Nombre de personnels	Nombre d'agendas envoyés	Nombre d'agendas remplis	Pourcentage de retour
CDB	35	52	52	100%
OPL	39	52	48	92%
CDC	9	10	9	90%
HST/STW	31	46	37	80%
PNT	74	100	100	100%
PNC	40	56	46	82%
Total	114	156	146	94%

Tableau 43
Caractérisation de l'échantillon d'agendas.

5.2.5 - Bilan des questionnaires -

Parallèlement aux observations une campagne dite « light » a été initiée. Ce travail, non prévu initialement consiste à recueillir auprès d'un grand nombre d'équipages des questionnaires d'autoévaluation des contraintes rencontrées en vol. Rappelons que la liste des contraintes a été établie à partir des observations en vol des premiers accompagnements pour les PNT et PNC. Ces autoévaluations sont associées aux échelles d'évaluation de fatigue et de somnolence utilisées pendant les observations.

Suite à l'analyse chronobiologique, les rotations 3/3, 5/3, les services successifs du matin et les services fractionnés ont été retenus comme significatifs en termes de fatigue et seront traités par rapport à un groupe témoin constitué par les services de journée. Des questionnaires « papier » ciblant spécifiquement chaque type de rotation ont été envoyés en fonction du nombre de rotations réellement effectuées dans les compagnies. Après diffusion interne d'une note d'information, les questionnaires ont été mis à la disposition des PN dans les salles de préparation des vols. Comme pour les observations, cette campagne était basée sur le volontariat des personnels.

Initialement, une large diffusion était prévue, environ 2000 sur les 3 compagnies de manière à couvrir les configurations de rotations les plus représentatives (5 types de rotations). La compagnie Z souhaitait que cette

diffusion ne soit pas générale mais qu'elle soit limitée aux PN qui se sont déclarés volontaires pour les observations en vol.

Globalement 1208 questionnaires ont été diffusés, 660 par la compagnie Y sur les bases de CDG, ORY et LYS, et 548 par la compagnie X. Au total, 13,5% des questionnaires ont été remplis et retournés au LAA avec un taux qui diffère pour ces 2 compagnies (4,2% pour compagnie X contre 21,2% pour compagnie Y). Il convient de noter que les PNC ont aussi bien répondu que les PNT. Le tableau 44 présente la répartition des réponses par type de rotation.

Rotations / services	Pourcentage
3/3	28,9%
5/3	15,1%
Journée	14,5%
Journée avec une longue escale	13,3%
Matin	12,0%
Matin successifs	8,4%
Autres services	7,8%
Total	100,0%

Tableau 44
Pourcentages de questionnaires en fonction du type de rotation.

5.2.6 - Caractérisation de l'échantillon -

L'échantillon de base constitué à partir des observations comprend :

- 64,1% de personnels masculins, avec une distinction en fonction de la catégorie de personnel. Les PNT sont majoritairement des hommes, soit 91,8% contre 17,2% chez les PNC,
- des PNT significativement plus âgés que les PNC, respectivement de $39,0 \pm 7,4$ ans contre $34,8 \pm 6,8$ ans (test de Student : $t = -3,219$; $p = 0,0016$),
- une ancienneté moyenne de $8,7 \pm 3,7$ pour les CDB, $2,9 \pm 2,9$ pour les copilotes, $12,1 \pm 6,5$ pour les CDC et $4,4 \pm 4,1$ pour les HST/STW. Pour la COMPAGNIE X, les durées d'ancienneté sont nettement inférieures à celles observées pour les 2 autres compagnies,
- une part des faux basés variable en fonction de la compagnie et du type de personnel. 22,5% des PNT d'une des compagnies sont « faux basés » contre 55,0% pour les deux autres compagnies (tableau 45). Concernant les PNC, le pourcentage de « faux basés » s'avère nettement moins élevé et correspond à 17,2% pour l'ensemble des trois compagnies.

Compagnie	PNT			PNC		
	% Faux basé	% Proche de la base	Non indiqué	% Faux basé	% Proche de la base	Non indiqué
X	22,5%	75,0%	2,5%	23,8%	66,7%	9,5%
Y	52,8%	44,4%	2,8%	11,5%	73,1%	15,4%
Z	58,3%	41,7%	0,0%	18,2%	72,7%	9,1%
Global	42,0%	56,0%	2,0%	17,2%	70,7%	12,1%

Tableau 45
Pourcentages de « faux basés »

- des durées domicile-travail très variables variant de 7 minutes à 6 heures avec une valeur moyenne de 38 minutes \pm 18 minutes pour les PN habitant peu loin de la base et 2 heures 19 minutes \pm 1 heure 5 minutes pour les « faux basés ».

Le tableau 46 synthétise les différents échantillons sur lesquels portera l'analyse des données.

Echantillon	Type d'analyse effectuée
PN observés en vol	Analyse de la charge de travail et du comportement des PNT en vol
PN ayant répondu aux échelles lors d'accompagnements ou via l'enquête « light »	Analyse de la fatigue, de la somnolence et des niveaux de contraintes liés à l'environnement extérieur
PN ayant rempli les agendas	Analyse du sommeil et des activités

Tableau 46
Distinction des différents échantillons.

5.2.6.1 - Echantillon de PN observés en vol -

La première analyse a consisté à vérifier si les personnels observés présentaient une charge de travail identique en termes de succession de services, pendant les jours qui précédaient l'observation. La méthode a été de comptabiliser le nombre de journées travaillées avant l'observation et de comparer ces résultats à un échantillon tiré aléatoirement dans les plannings de la période du 01/12/2007 au 30/11/2008.

On constate que les journées d'observation en vol comme les journées de référence sont comparables en ce qu'elles sont très majoritairement précédées d'un maximum de deux jours travaillés (91,5% dans le premier cas et 80,9% dans le second cas) même si le nombre de journées d'observations en vol précédées d'aucun jour travaillé (56,7%) est significativement plus important que pour les journées de référence (33,3%) ($\chi^2 = 17,137$; ddl = 2 ; $p < 0,001$).

Il est à noter que, de manière à rendre le recueil de données le plus homogène possible, le consortium avait demandé aux compagnies de pouvoir observer des PN ayant eu un planning à peu près équivalent dans les jours précédant l'observation. Comme mentionné auparavant, le consortium a privilégié en outre les observations au cours de rotations comportant des repos réduits et des services fractionnés

Le tableau 47 présente les résultats. Ces chiffres sont observables pour chacune des 3 compagnies.

Nombre de jours travaillés précédents	Accompagnements en vol	Plannings d'une année
0	56,7%	33,3%
1 et 2	34,8%	47,5%
3 et plus	8,5%	19,1%
Total	100%	100%

Tableau 47
Caractérisation des services
en fonction du nombre de jours travaillés précédents.

Deux raisons peuvent expliquer ces résultats :

- une des conditions de sélection des volontaires auprès des compagnies était de mettre dans le même équipage des personnels navigants ayant sensiblement un même niveau de fatigue, c'est-à-dire un même nombre de jours travaillés avant l'accompagnement. Pour des raisons de simplicité, les agents responsables de la planification ont probablement sélectionné une part plus importante de personnels navigants au retour de repos ou de périodes de congés,
- la conjoncture économique internationale entraînant une réduction du nombre de vols a incidemment allégé les plannings par rapport à l'année de référence sélectionnée pour effectuer l'analyse.

5.2.6.2 - Echantillon de PN ayant répondu aux échelles lors d'accompagnements ou via la campagne d'auto-observation

La campagne dite d'auto-observation reposant sur le même type de questionnaire que celui utilisé en vol, il a semblé pertinent de traiter globalement les données de manière à disposer d'un échantillon suffisamment conséquent et représentatif.

Le tableau 48 indique la distribution des questionnaires par type de rotation. Le choix du consortium d'étudier prioritairement les rotations 3/3 et 5/3 explique les forts pourcentages de questionnaires pour ces rotations.

	PNT	PNC	Total	%
3/1	7	8	15	4.7%
3fractioné/1	6	11	17	5.3%
3/3	51	55	106	33.3%
5/3	32	38	70	22.0%
Journée	15	13	28	8.8%
Journée avec escale	13	17	30	9.4%
Matin	9	11	20	6.3%
Matins successifs	7	7	14	4.4%
Autres	9	9	18	5.7%
Total	149	169	318	100.0%

Tableau 48
Répartition des questionnaires en fonction des rotations.

5.2.6.3 - Echantillon de PN ayant rempli les agendas -

Rappelons que 145 agendas ont été remplis. Les PNT ont rempli 1128 journées et les PNC 487, avec une part équivalente pour ces deux populations d'environ 49% de jours travaillés. Comme indiqué dans le tableau 49, les services du matin avec repos réduit (RR) représentent 30,4% des services contre 17,1% des services du matin classiques (Matins). Cette répartition est différente de celle observée dans les plannings de 2008 comprenant une part équivalente des services RR et Matins de l'ordre de 19%.

Les bases sélectionnées pour l'étude (surtout Paris et Lyon) sont probablement à l'origine de ce biais de sélection. Néanmoins, le nombre important de données va permettre une analyse détaillée en fonction des services.

Services	PNT		PNC		Total	
	N	%	N	%	N	%
Après-midi	211	37.3%	77	33.5%	288	36.2%
Journée	45	8.0%	18	7.8%	63	7.9%
Matin	85	15.0%	51	22.2%	136	17.1%
Matin après repos réduit	180	31.9%	62	27.0%	242	30.4%
Nuit	1	0.2%	2	0.9%	3	0.4%
Soirée	43	7.6%	20	8.7%	63	7.9%
Total	565	100%	230	100%	795	100%

Nombre de repos	563	257	820
Nombre de repos	1128	487	1615
Nombre de repos	69.8%	30.2%	100%

Tableau 49
Répartition des services et des journées de repos par catégorie de personnel.

5.2.7 - Résultats -

5.2.7.1 - Durée et qualité du sommeil -

La durée et la qualité du sommeil, évaluées par agenda de sommeil et actométrie ont été analysées en fonction des services. La figure n°76 montre pour une période de 12 jours encadrant l'accompagnement d'un équipage, les données relatives au sommeil d'un copilote. De gauche à droite sont reportés pour chaque journée étudiée :

- les évaluations de somnolence et de fatigue au coucher,
- les enchaînements de services et des sommeils. Sur les services est reportée la somnolence prédite par le modèle Sleep-Wake Predictor (SWP). L'échelle utilisée est la KSS qui évalue la somnolence de 0 à 9. Les deux journées de service encadrées en rouge correspondent aux deux journées ayant fait l'objet des observations, ici en l'occurrence une rotation 3/3,
- les évaluations de somnolence et de fatigue au lever,
- les variations relatives de la durée du sommeil par rapport au besoin de sommeil du PN recueilli par questionnaire,
- l'évaluation subjective de la quantité de sommeil par rapport au besoin ressenti,

Fatigue et vigilance dans l'activité des pilotes de la compagnie REGIONAL - Sujet : RAEOP136 - Age : 33 ans - Type Matin/Soir : Intermédiaire -
 Fonction : Copilote - Base : LYS - Dates des accompagnements : 12 et 13/05/2009 - Rotation : LYS-STR-LYS-VCE // VCE-LYS-BRU-LYS

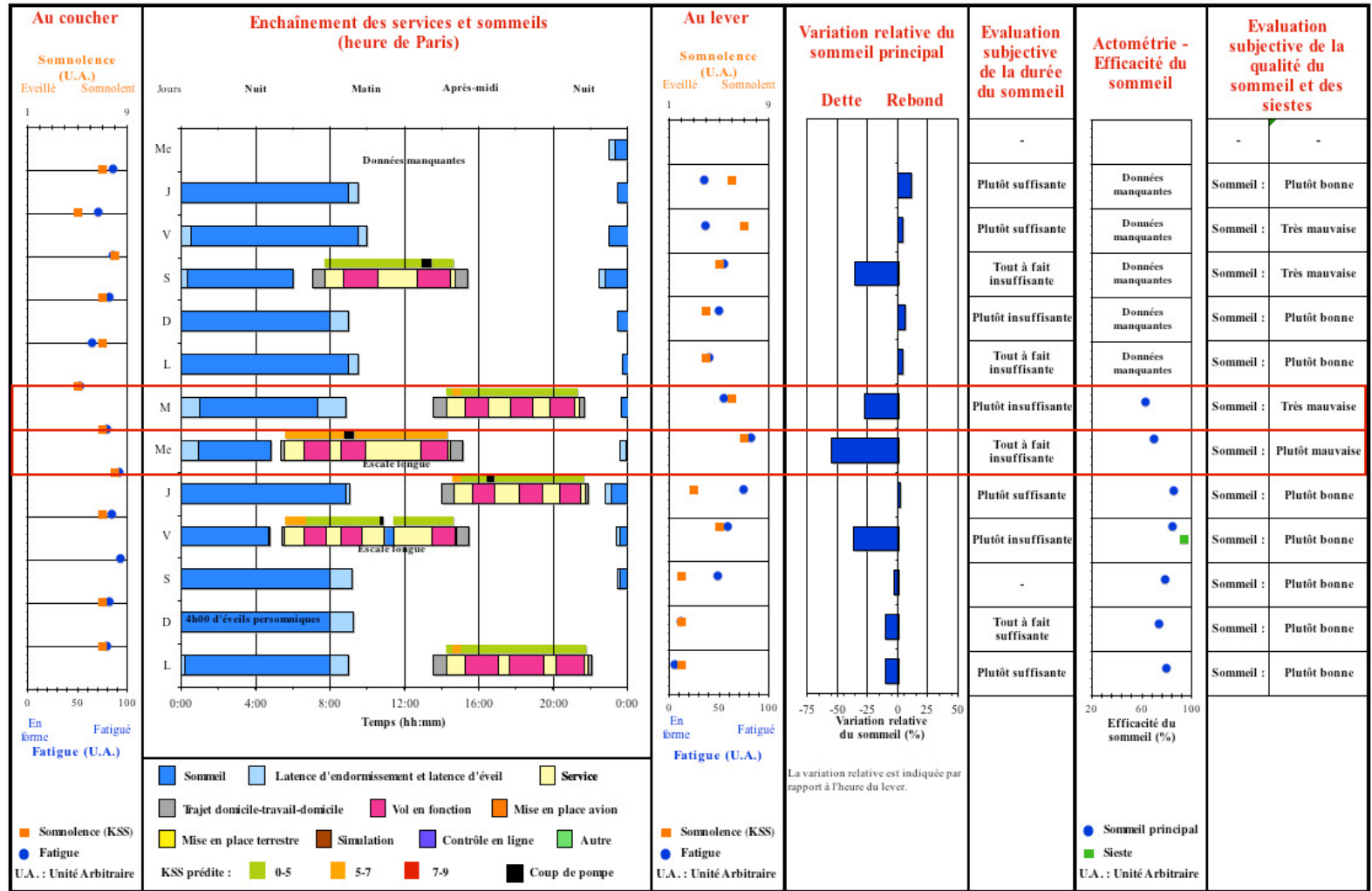


Figure n°76 - Représentation graphique des données relatives au sommeil avant, pendant et après un accompagnement.



- l'efficacité du sommeil mesurée par actométrie. Cette valeur correspond au pourcentage de temps endormi sur la période passée au lit. Plus cette valeur est élevée plus elle correspond à un sommeil « efficace », associé à une faible durée de latence d'endormissement et un faible nombre d'éveils persomniques (éveils survenant pendant le sommeil),
- enfin, la dernière colonne correspond à l'évaluation subjective de la qualité du sommeil.

Le premier constat qui peut être fait au travers de cet exemple est l'impact négatif des repos réduits sur le sommeil. Le modèle SWP prédit une somnolence modérément élevée (entre 5 et 7) sur l'ensemble du service. Ceci est lié à l'effet cumulé de l'horaire du service et de la privation importante de sommeil qui précède le service, qui atteint ici près de 55% du besoin habituel du sommeil. Cette privation de sommeil, qui est souvent associée à une qualité médiocre, génère une augmentation de la fatigue et de la somnolence au lever qui traduit une faible récupération.

5.2.7.2 - Dette de sommeil -

Les résultats présentés dans ce chapitre portent sur les dettes de sommeil calculées en pourcentage du besoin de sommeil exprimé par chaque PN dans le questionnaire de sommeil. Ceci permet de prendre en compte la variabilité interindividuelle des besoins de sommeil.

Dans l'échantillon de PN, les besoins de sommeil varient de 6 heures à 10 heures. Le besoin de sommeil est significativement plus élevé pour les PNC (8 heures 35 minutes \pm 59 minutes) que pour les PNT (8 heures 7 minutes \pm 46 minutes). Ce résultat est probablement à rapprocher des répartitions par âge et par sexe. La diminution du besoin de sommeil avec l'âge a été démontrée par les travaux de Ohayon et coll (2004). Par ailleurs, les femmes en bonne santé auraient en général un sommeil plus long que les hommes tels que l'ont montré les travaux de Walsleben et coll (2004).

5.2.7.2.1 - Dette de sommeil en fonction du type de service -

Les dettes de sommeil sont calculées par rapport aux sommeils principaux qui précèdent systématiquement les services. Les dettes importantes sont principalement liées aux services du matin pour lesquels elles excèdent 35% du besoin de sommeil déclaré par les PN (figure n°77). La dette moyenne concernant les services du matin après un repos réduit est significativement plus importante que celles des services du matin sans repos réduit (Test de Student : $t = 3,383$; $p < 0,001$).

On note en outre l'existence permanente d'une dette de sommeil, de l'ordre de 10%, en dehors des périodes de travail (cf. « Sommeil précédant un repos »). Les valeurs des dettes de sommeil calculées dans le cas de service à suivre doivent également être considérées relativement à cette caractéristique.

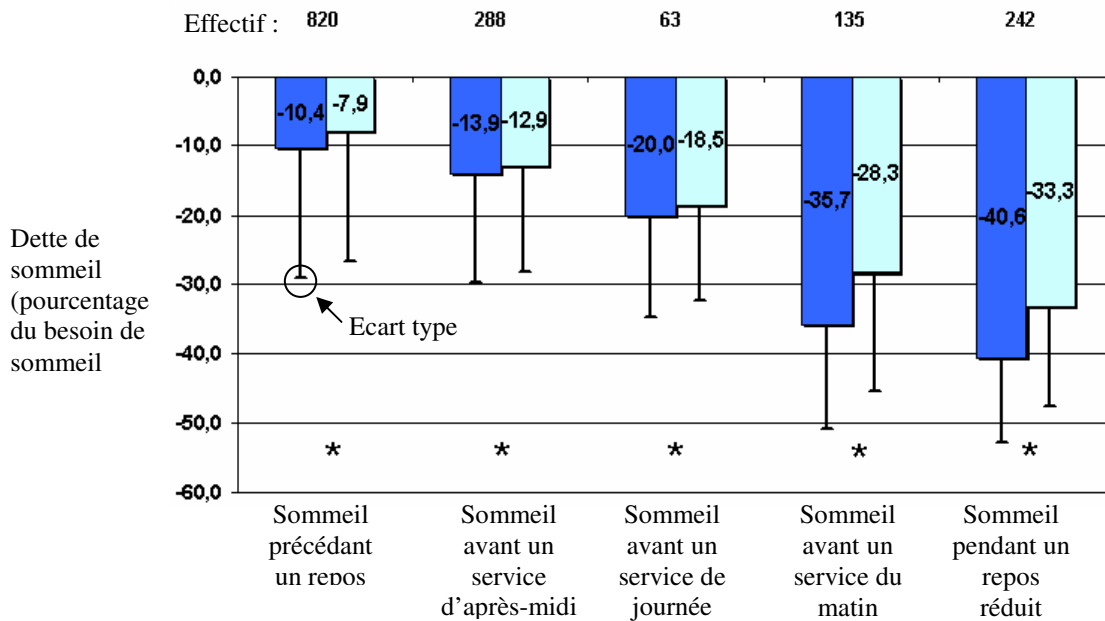


Figure n°77
Dette de sommeil en fonction du type de service.

Nota : l'excursion positive de l'écart type n'est pas représentée dans cette figure ni dans les suivantes : pour certains individus, on note un sommeil plus long que le besoin de sommeil déclaré, ce qui traduit un phénomène de récupération d'une dette de sommeil précédente

Quels sont les facteurs explicatifs de la différence de dette de sommeil observée entre les services du matin et les services du matin après un repos réduit ? Quels sont les impacts des heures de coucher, des heures de lever et des

besoins individuels de sommeil sur cette variabilité ? Les distributions de ces différentes variables sont présentées en annexe F.

	Durée de sommeil inférieure à 6 heures	Durée de sommeil entre 6 et 9 heures	Dettes entre 0% et -20%	Dettes entre -20% et -50%	Dettes entre -50% et -90%
Besoin déclaré par les PN	3,4%	89,0%	---	---	---
Repos	15,1%	74,1%	46,5%	26,9%	2,0%
Services du matin sans repos réduit	77,0%	22,2%	14,8%	68,9%	14,8%
Services du matin avec repos réduit	92,6%	7,4%	3,7%	73,1%	23,1%

Tableau 50
Caractérisation de la variabilité en termes de sommeil.

L'analyse qui suit porte sur la comparaison des sommeils pendant un repos réduit (RR) versus les sommeils avant un service du matin sans repos réduit (Matins).

92,6% des durées de sommeil RR sont inférieures à 6 heures contre 77,0% pour les sommeils Matins. Ces pourcentages sont caractéristiques des postes du matin et en totale opposition avec les 15,1% observables pour les jours de repos. Pour les RR, 23,1% des dettes correspondent à une réduction de plus de la moitié de la durée de sommeil initiale, contre 14,8% pour les Matins. La part des réductions de sommeil de 20 à 50% est également plus importante pour les RR (73,1%) que pour les Matins (68,9%).

Ces variations sont consécutives au :

- coucher encore plus tardif pour les RR (23h17 ± 0h44 contre 23h04 ± 1h05),
- lever plus précoce pour les RR (4h59 ± 0h32 contre 5h16 ± 0h52).

Concernant ces services du matin, 86% des PN jugent leur sommeil comme ayant une durée insuffisante notamment pour les services du matin après repos réduit contre 69% pour les sommeils précédents les services du matin sans repos

réduit ($\text{Chi}^2 = 11,987$; $\text{ddl} = 1$; $p < 0,001$) (figure n°78). Ces pourcentages sont à rapprocher des 77% de PN dont la durée de sommeil est inférieure à 6h pour les services du matin sans repos réduit. Pourcentage qui mettent en exergue des couchers tardifs et la difficulté de changer ses habitudes de sommeil. En revanche, la qualité du sommeil est jugée plutôt bonne voire très bonne pour 73% des personnels.

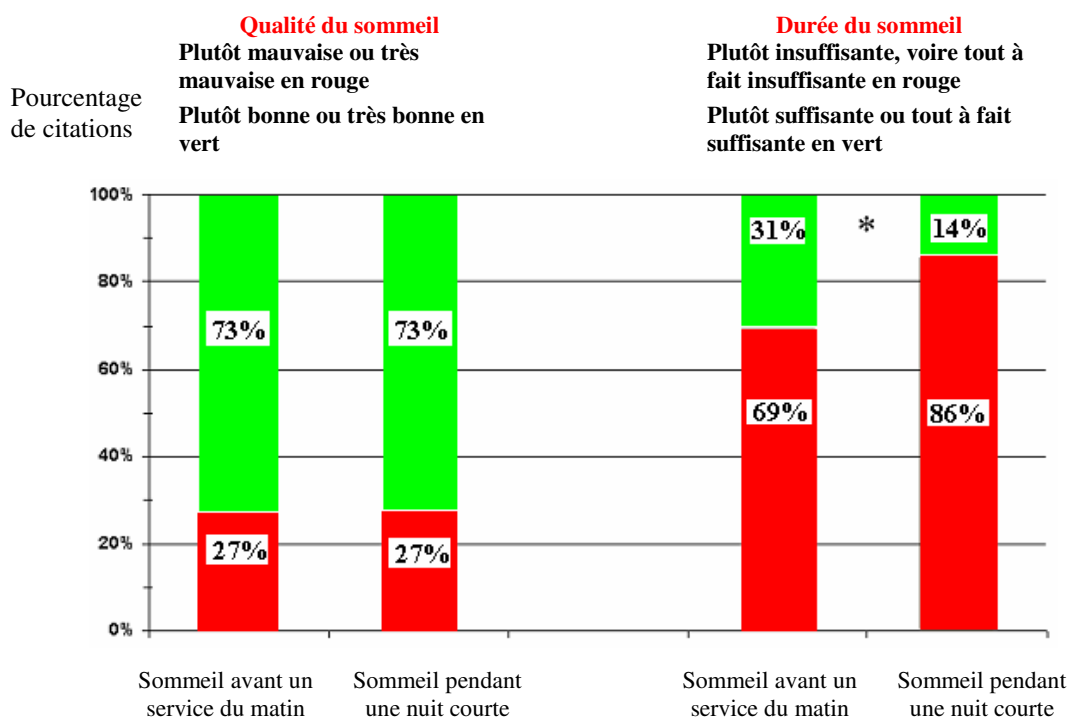


Figure n°78
Qualification du sommeil pour les services du matin.

* : différence significative à $p < 0,05$

5.2.7.2.2 - Dette de sommeil, catégories de personnel et faux basés -

Les dettes de sommeil sont calculées en fonction du type de service qui suit et en fonction de la catégorie de personnel (PNT et PNC). Les dettes sont significativement plus élevées pour les PNC qui initialement déclaraient avoir des besoins de sommeil plus importants (figure n°79).

Une autre approche a été de vérifier l'évolution de la dette en fonction d'un critère d'éloignement du domicile du PN par rapport à la base d'affectation. La notion de « faux basé » traduit un éloignement de plus de 100 kilomètres.

Aucune différence significative n'est observable concernant la dette de sommeil entre les PN « faux basés » et les PN habitants près de leur base d'affectation (figure n°80). Le facteur « faux basé » ne présente donc pas un impact significatif sur la durée du sommeil. Ceci s'explique par le fait que les PN « faux basés » compensent l'éloignement de leur domicile par des stratégies consistant à arriver la veille sur le lieu de leur base (logement de type « pied à terre » ou hébergement chez des amis ou collègues). A l'inverse des PN habitant dans la zone géographique de leur base peuvent présenter des durées de trajets élevées impactant leurs horaires de sommeil.

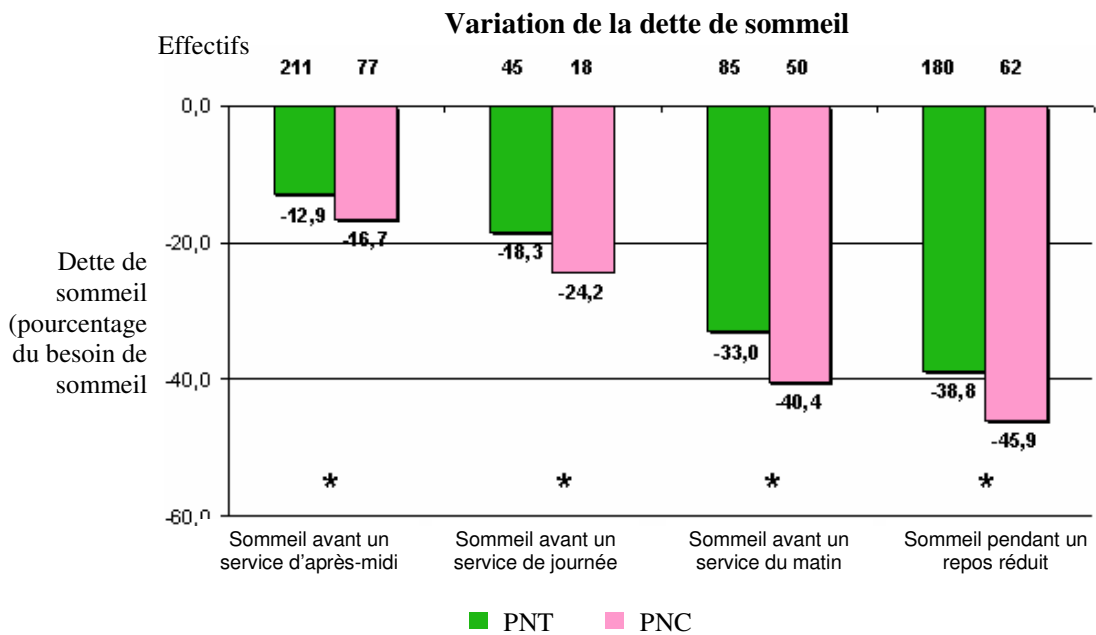


Figure n°79
Dette de sommeil et catégories de personnel.
* : différence significative à $p < 0,05$

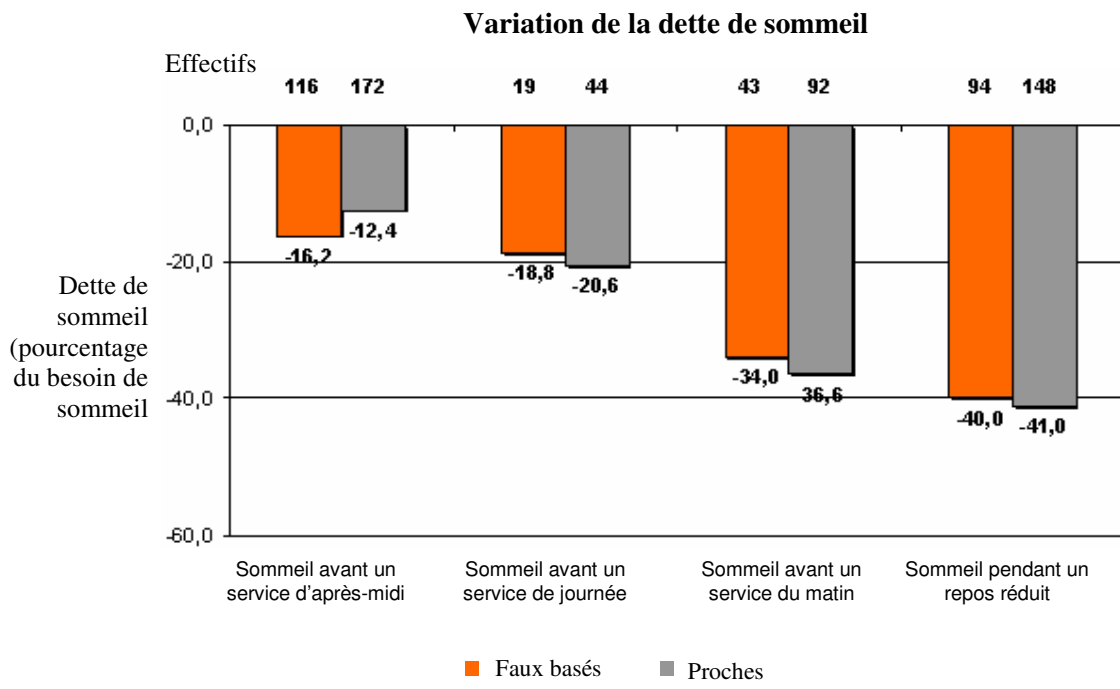


Figure n°80
Dette de sommeil et faux basés.

5.2.7.2.3 - Effets des siestes sur la dette de sommeil -

Les siestes contribuent à limiter les dettes de sommeil (figure n°81). Globalement, sur l'ensemble des journées de recueil de l'agenda, la dette de sommeil passe de -18,1% à -14,8% lorsque les siestes sont prises en compte. Pour les journées de service, la dette diminue de -26,2% à -22,0%, traduisant une variation de 4,2%. Ce sont pour les postes du matin que l'impact des siestes sur la réduction de la dette est le plus important (7,5 points de diminution de la dette pour les services du matin sans repos réduit et 7,3 point pour les services du matin avec repos réduit).

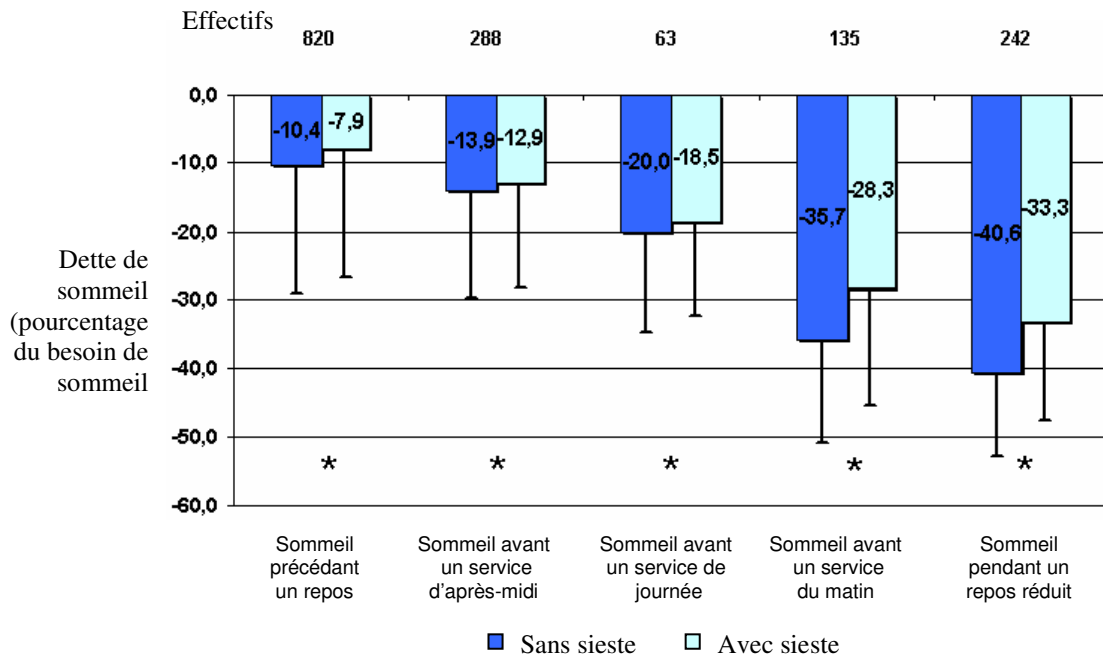


Figure n°81
Dette de sommeil en fonction du type de service.
 * : différence significative à p < 0,05

Le tableau 51 résume le recours à la sieste en fonction du type de service. Les siestes sont le plus souvent observées après les services matinaux mais aussi pour les services matinaux fractionnés. Les siestes qui semblent les plus longues s'observent après ou pendant les services avec lever tôt mais aussi avant les services de soirée.

Il est très rare que les PN fassent deux siestes (seulement 5% des jours avec sieste). 95,8% des siestes réalisées pendant les services fractionnés sont prises à l'hôtel. Pour les services avec lever tôt, près de 67% des siestes sont effectuées au domicile et 28% dans l'avion.

Ces constats traduisent le besoin de récupération de la dette de sommeil liée au lever tôt.

Le recours à la sieste est encore plus marqué chez les PNC après un service du matin suivant un repos réduit, avec 61,3% de jours avec pratique de la sieste contre 43,3% chez les PNT ($\chi^2 = 5,958$; ddl = 1 ; $p < 0,02$).

Type de service	Nombre de jours	% de jours avec sieste	Durée moyenne des siestes
Avant un service d'après-midi	288	12,5%	0h41 ± 0h29
Après un service de journée	64	14,1%	0h53 ± 0h35
Après un service du matin sans repos réduit précédant	135	48,1%	1h16 ± 0h54
Après un service du matin sans repos réduit précédant / service fractionné	26	88,5%	1h13 ± 0h36
Après un service du matin sans repos réduit précédant / service non fractionné	109	38,5%	1h24 ± 1h04
Après un service du matin après repos réduit	242	47,9%	1h11 ± 0h53
Avant un service de soirée	63	14,3%	1h25 ± 0h37
Pendant les jours de repos	820	16,5%	1h10 ± 0h41

Tableau 51
Pratique de la sieste en fonction du type de service.

5.2.7.3 - Sommeil, somnolence et fatigue -

5.2.7.3.1 - Somnolence au coucher et au lever -

Le niveau moyen de somnolence (figure n°82) se révèle relativement constant pour les sommeils qui précèdent différents types de service et pour les sommeils précédant les repos et atteint un niveau moyen proche de 6, qui correspond physiologiquement au niveau nécessaire à l'endormissement. La somnolence au lever présente quant à elle un niveau variable qui est plus élevé avant les services du matin notamment pour les repos réduits. 38,9% des PN déclarent être « somnolents » ou « extrêmement somnolents » au coucher avant un service du matin contre 56,5% avant un repos réduit. Au lever avant le service du matin, 33,9% des PN se déclarent « somnolents » ou « extrêmement somnolents » contre 51,3% après un repos réduit.

Les PN indiquent donc des niveaux moyens similaires au lever et au coucher pour les sommeils précédant des services du matin et les sommeils associés aux repos réduits, ce qui traduit des difficultés de récupération liées au manque de sommeil généré par le lever tôt. A l'inverse, la récupération est significative pour les sommeils précédant un repos, précédant un service d'après-midi ou précédant un service de journée (cf. figure n° 82).

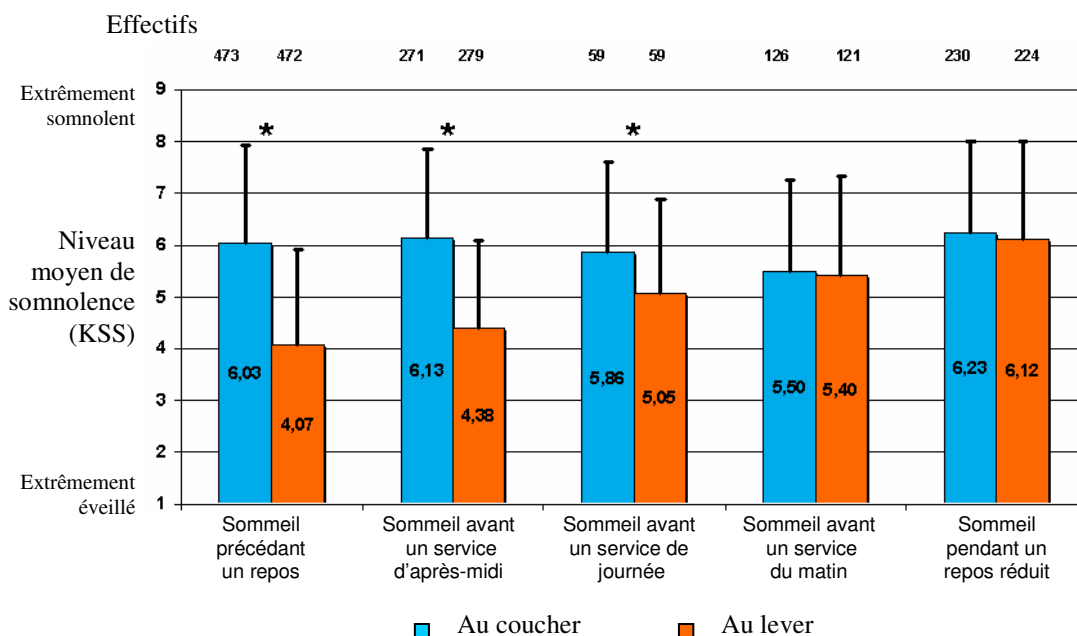


Figure n°82
Somnolence au coucher et au lever par type de service.

* : différence significative à $p < 0,05$

Concernant les repos réduits, les niveaux de somnolence au coucher et au lever restent élevés, proche d'un niveau de 6, quelle que soit la position du repos réduit dans la succession des services. L'analyse de la somnolence pour les rotations « Nuit Courte » seule (NC1) ou consécutive à une autre rotation « Nuit courte » (NC2)³, mais également pour les rotations suivant immédiatement un repos ou précédées de 1 ou 2 services, est présentée en annexe G. Les résultats révèlent une diminution significative du pourcentage de PN somnolents entre le coucher et le lever quand la rotation avec repos réduit débute directement après une période de repos ($\text{Chi}^2 = 4,346$; ddl = 1 ; $p < 0,05$).

5.2.7.3.2 - Fatigue au coucher et au lever -

La fatigue au coucher est plus marquée lors des repos réduits (ANOVA $F = 9,169$; $p < 0,001$). Les PN déclarent un niveau moyen de 71 sur une échelle de 0 à 100 contre 62 ou moins pour les autres couchers (figure n°83).

Au lever, le niveau moyen de fatigue est significativement différent en fonction des services (ANOVA $F = 62,097$; $p < 0,001$) et présente un niveau élevé pour les services matinaux notamment après un repos réduit. La récupération en terme de fatigue n'est pas significative pour les sommeils précédant un service du matin. Elle l'est pendant les repos réduits. Elle n'est plus significative lorsque les rotations « nuit courte » sont précédées d'un ou plusieurs services (cf annexe G).

³ NB les 2 rotations repos réduits consécutives sont séparées d'un repos nocturne réglementaire

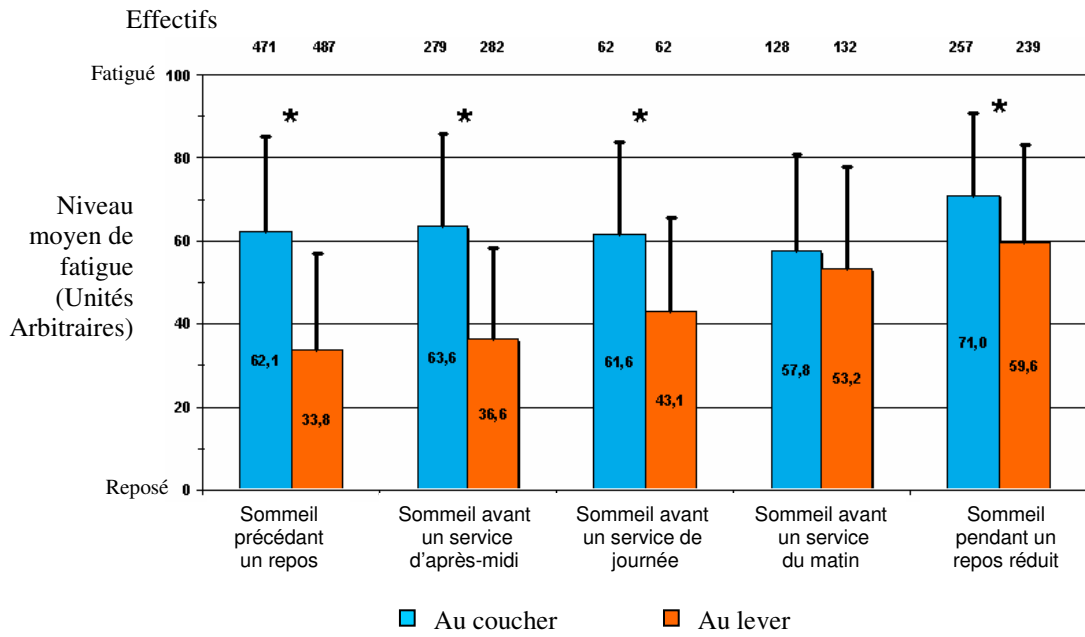


Figure n°83
Fatigue au coucher et au lever par type de service.

* : différence significative à $p < 0,05$

5.2.7.4 - Fatigue et service -

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, quel que soit le type de service, que ce soit pour les PNT ou les PNC, les niveaux élevés de fatigue se retrouvent logiquement en fin de service et les niveaux les plus faibles en début de service (annexe H).

L'analyse plus poussée du niveau de fatigue en fonction du nombre de vols dans le service montre que :

- Pour les services d'après-midi :
 - 1) pour les PNT, le niveau de fatigue en fin de service est élevé (entre 50 et 60) avec 3, 4 ou 5 vols. On observe des niveaux semblables pour les services de journée,
 - 2) pour les PNC, le niveau de fatigue en fin de service est élevé (entre 60 et 70) pour les services avec 2, 3, 4 ou 5 vols,
 - 3) pour les PNC, le niveau de fatigue en début de service est proche du niveau en fin de service pour les services avec 4 ou 5 vols.

- Pour les services du matin sans repos réduit, la variation est significative entre le début et la fin de service pour les services avec 3 vols mais surtout pour les services avec 4 vols.

- Pour les services du matin après repos réduit, les niveaux de fatigue sont très élevés surtout en fin de service (figure n°84) et varient entre 60 et 80. Les PNT présentent des niveaux moindres en début de service. Que ce soit en « retour sec » ou avec 3 vols, les niveaux restent importants après un repos réduit.

- Pour les services de soirée, les niveaux de fatigue restent modérés.

L'ensemble de ces résultats montre que les niveaux de fatigue élevés déclarés par les PN en fin de service sont observés non seulement pour les services du matin avec 3 ou 4 vols, ou pour les services du matin après repos réduit mais également pour les services d'après-midi ou de journée avec 3, 4 ou 5 vols. Le nombre élevé de vols dans les services traduisant une augmentation de l'amplitude de travail est donc un facteur important qui entre en compte significativement dans la fatigue des équipages. Notons que la nature différente de

l'activité entre les PNT et les PNC pourraient expliquer les niveaux de fatigue plus importants chez les PNC.

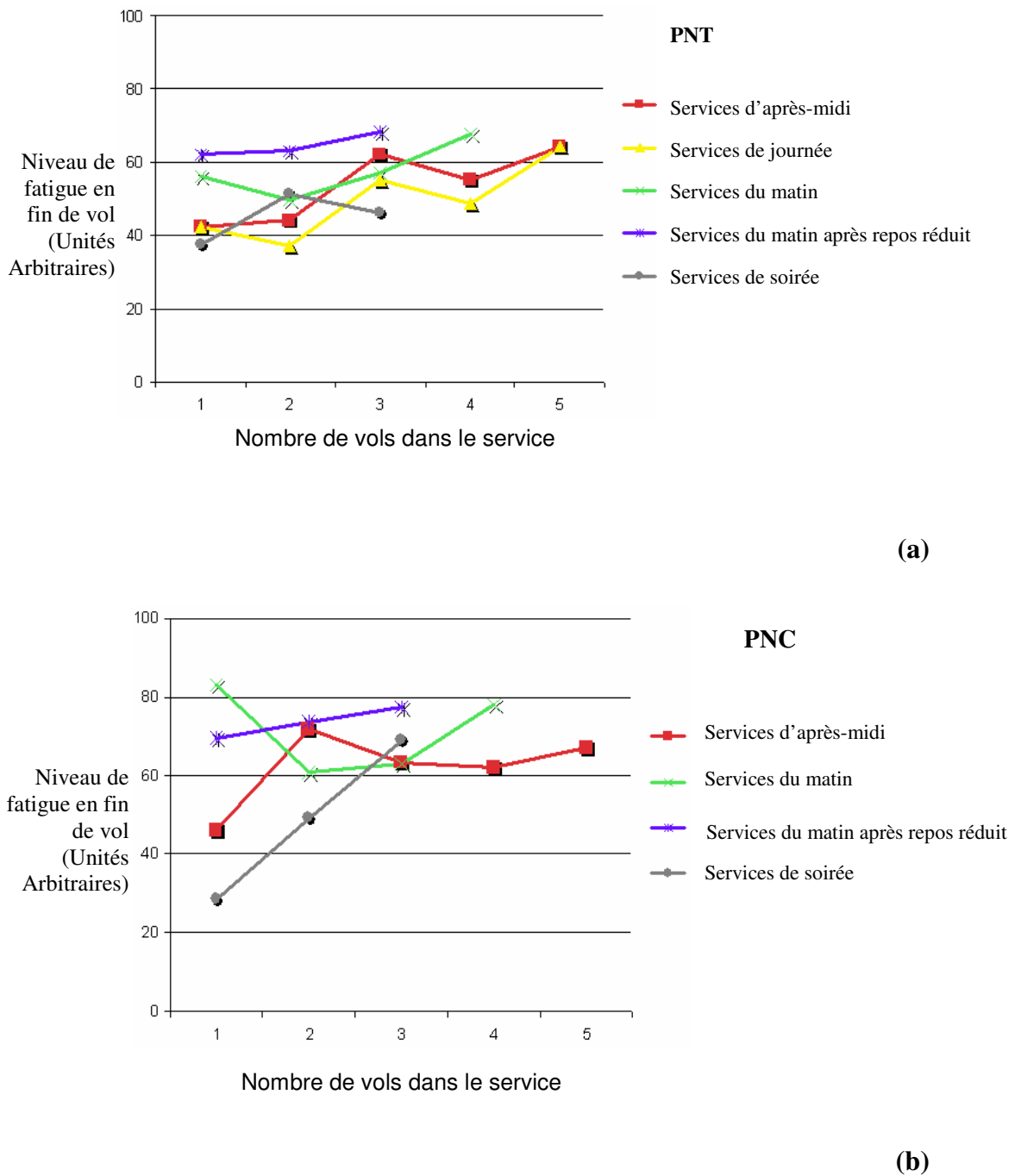


Figure n°84
Variation du niveau de fatigue en fin de service en fonction du nombre de vols dans le service pour les PNT (a) et les PNC (b).

Une analyse statistique complémentaire a été réalisée sur l'ensemble de ces données en distinguant les PNT des PNC. L'analyse en composante principale (ACP) réalisée repose sur deux variables, la fatigue en fin de service et l'évolution de la fatigue au cours du service traduisant la différence entre le niveau de fatigue en fin de service et celui relevé en début de service.

Les résultats sont présentés en Annexe H2.

L'interprétation des graphes révèle :

- des niveaux de fatigue modérés voire faibles pour le premier vol des services d'après-midi ou de soirée, ainsi que pour les deux premiers vols des services de journée,
- un effet cumulatif de la fatigue lié à la durée du service, qui s'observe notamment pour les vols 3 et 5 des services d'après-midi et des vols 5 des services de journée chez les PNT,
- un éventuel effet postprandial⁴ chez les PNC sur le deuxième vol d'après-midi,
- l'impact du lever tôt pour les services du matin notamment chez les PNC,
- l'impact du lever tôt et de la réduction importante de la durée de sommeil pour les services qui suivent un repos réduit pour les trois vols chez les PNT et PNC.

5.2.7.5 - Les prises de repas et de boissons excitantes -

5.2.7.5.1 - Impact du service sur la prise de repas -

Globalement, les PN parviennent assez difficilement à maintenir :

- la prise des déjeuners et dîners,
- une régularité dans les horaires des repas notamment pour les petits-déjeuners et les collations,
- un repas complet au bénéfice de sandwichs ou de collations.

⁴ L'effet dit « postprandial » correspond à la diminution de la vigilance en début d'après-midi. Ce phénomène, indépendant de la prise alimentaire, est associé à un rythme biologique. Cette période est qualifiée de « porte secondaire vers le sommeil » (la porte primaire étant située en début de nuit) (Lavie, 1986).

Le tableau 52 et la figure n°85 montrent que :

- la prise du petit-déjeuner. Bien qu'elle soit maintenue (environ 90% des jours avec petit-déjeuner, heure de prise est très impactée par les heures de début de service. Les PN avancent considérablement la prise du petit-déjeuner entre 05h00 et 10h00 par rapport aux jours de repos,
- la prise du déjeuner diminue pendant les jours de service (de 87,7% à 80,5%). Même si le fait d'être en service n'impacte pas sur l'heure de prise du déjeuner, l'activité réduit la possibilité de prise de repas complet au bénéfice de sandwich (27,5% au lieu de 8,8% pendant les jours de repos) ou de collation,
- même si l'horaire est maintenu, la prise du dîner diminue considérablement pendant les jours de service (de 91,4% à 73,2%). Comme pour les déjeuners, la part des repas complet décroît,
- la prise de collation augmente de 17,3% à 37,8%. Le déficit en déjeuner et dîner est compensé par la prise « pseudo continue » de collations dans l'avion, que ce soit en termes de plateaux-repas, de sandwiches ou de « grignotages ».

Repas	% pendant les jours de repos	% pendant les jours de service	Test du Chi2 (1 ddl)
Petit déjeuner	86,6%	92,5%	1,563 (NS)
Déjeuner (en globalité)	87,7%	80,5%	15,714 (< 0,001)
Déjeuner (sandwich)	8,8%	27,5%	81,141 (< 0,001)
Dîner (en globalité)	91,4%	73,2%	92,217 (< 0,001)
Dîner (sandwich)	4,2%	12,3%	30,180 (< 0,001)
Collation	17,3%	37,8%	78,425 (< 0,001)

Tableau 52
Pourcentage de prise de repas.

Fréquence (%)

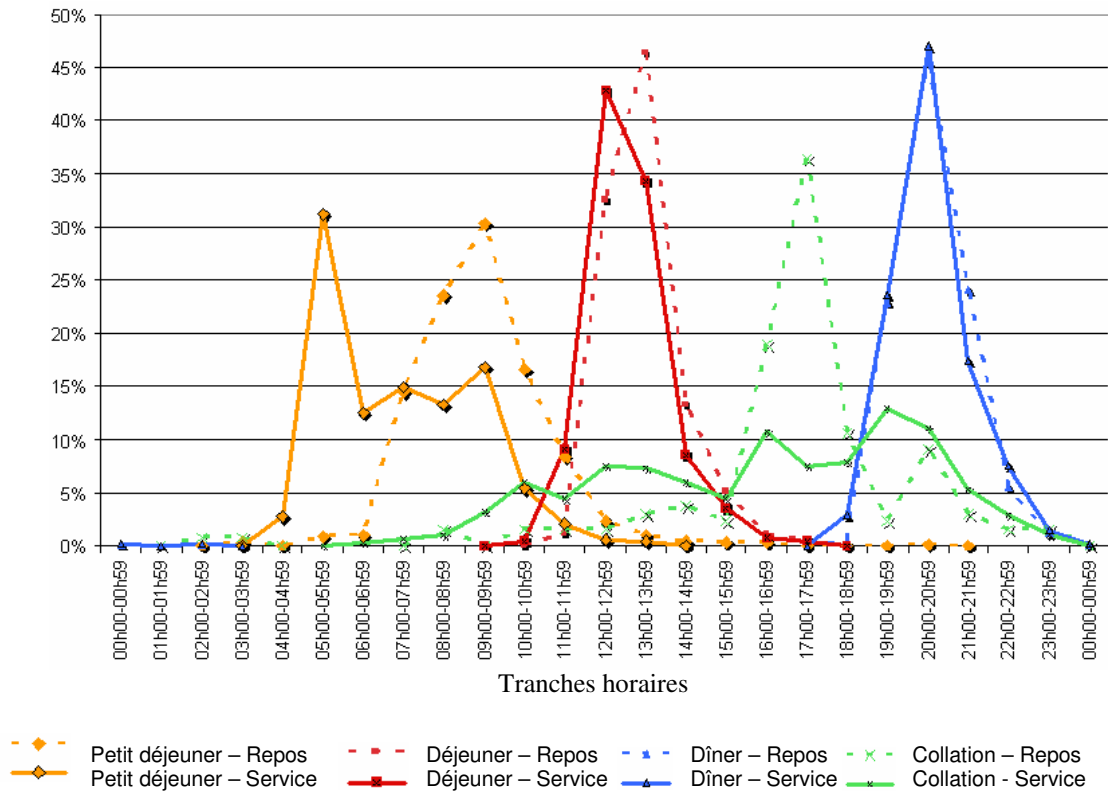


Figure n°85
Distribution des repas au cours de la journée.

5.2.7.5.2 - Prise de boissons à base de caféine -

Pendant les jours de service, les PN boivent significativement plus de boissons contenant de la caféine (café, thé, sodas de type « coca cola ») que pendant les jours de repos ($\text{Chi}^2 = 38,938$; ddl = 1 ; $p < 0,001$) (annexe I). Le nombre de tasses ou de verres est significativement plus important pendant les services du matin soit 2,68 ($\text{IC}^{(1)5} = [2,50 ; 2,86]$) contre 2,39 ($\text{IC} = [2,31 ; 2,47]$) pendant les jours de repos.

La distribution horaire des prises de boisson révèle un pic important entre 5h00 et 6h00 pour les services du matin après un repos réduit. Le déficit en sommeil et le niveau important de fatigue et de somnolence incite les PN à boire des substances caféinées de manière à maintenir un niveau d'éveil convenable.

⁵ Intervalle de Confiance.

Les autres répartitions horaires révèlent un étalement des prises de boissons avec de petits pics aux moments habituels des repas rendus possible en l'absence de service.

5.2.7.5.3 - Prise de boissons alcoolisées -

En dehors des services de journée, les PN boivent significativement moins souvent de boissons alcoolisées pendant les services que pendant les jours de repos ($\text{Chi}^2 = 68,402$; $\text{ddl} = 1$; $p < 0,001$). Parallèlement, les quantités sont moindres pendant les jours de service, 1,67 verres (IC = [1,49 ; 1,85]) contre 2,47 verres (IC = [2,36 ; 2,59]). Lorsqu'il y a prise de boissons, elle s'effectue toujours le soir après le service.

5.2.7.6 - Somnolence, fatigue et charge de travail au cours des vols -

Un certain nombre d'éléments contextuels liés à l'activité et au nombre de vols consécutifs peuvent provoquer une dégradation des performances induite par un état de fatigue accrue. Dans ce sens, l'analyse sur la somnolence, la fatigue, les manifestations de la fatigue et la charge de travail, porte sur :

- la comparaison des rotations 3/3 et 5/3 afin de mettre en évidence l'impact du nombre de vols sur l'état des PN,
- la comparaison des rotations 3/1 et 3/1 fractionné dans l'hypothèse où la longue escale pourrait avoir un impact significatif sur l'état des PN.

Les comparaisons sont réalisées séparément sur les populations de PNT et PNC et sur le premier jour de service (J1) avant le repos réduit et le deuxième jour de service (J2) après le repos réduit.

5.2.7.6.1 - Somnolence, fatigue et manifestations de la fatigue -

Rappelons que les données de somnolence, de fatigue et de manifestations de la fatigue ont été recueillies lors des observations en vol et lors de la campagne d'auto-observations.

• Comparaison des rotations 3/3 et 5/3 -

Le tableau 53 présente la synthèse des résultats statistiques obtenus à partir d'une analyse de variance sur les données de somnolence, fatigue et de manifestations de la fatigue. Les données ont été recueillies à la préparation des vols en début de service et à la fin de chaque étape. L'analyse a été réalisée en fonction de l'amplitude de service précédant la mesure classée en tranche de deux heures, en fonction du type de rotation et en fonction de la catégorie de personnel (PNT/PNC). L'interaction significative entre la catégorie de personnel et la rotation a nécessité l'analyse en séparant ces deux facteurs. Les graphes sont présentés en annexe J.

Globalement, les résultats sont significativement différents entre les PNT et les PNC.

Concernant les PNT, on observe :

- un niveau significativement plus élevé pour les rotations 3/3 en J1 pour la somnolence, la fatigue sensorielle et la fatigue physique. Les niveaux augmentent significativement entre 4 et 8 heures de service. En fin de service les niveaux atteignent des valeurs identiques pour les deux types de rotation,
- un accroissement continu et significatif de la somnolence, de la fatigue globale et de la fatigue mentale, physique, sensorielle, physique et de l'humeur en J1 et en J2,
- une somnolence significativement plus élevée en fin de service en J2 pour la rotation 5/3 que pour la rotation 3/3 (annexe J).

La durée des vols étant significativement plus importante pendant les rotations 3/3, 1 heure 27 minutes \pm 19 minutes contre 1 heure 6 minutes \pm 14 minutes pour les rotations 5/3 (Test de Student : $t = 21,579$; $p < 0,001$), il semblerait que l'augmentation de la durée de la croisière, entraînant peut-être une forme de monotonie puisse avoir un impact sur la somnolence, la fatigue mentale et la fatigue sensorielle.

Concernant la fatigue physique, le maintien prolongé en posture assise lié à la durée des vols pourrait expliquer les différences de résultats entre les deux rotations.

Concernant les PNC, les résultats révèlent pour l'ensemble des échelles :

- un niveau significativement plus élevé pour les rotations 5/3 que pour les rotations 3/3 à la fois en J1 et en J2, notamment au delà de 8 heures de service pour le J1 et au cours des premières heures des services en J2 après le repos réduit,
- un accroissement continu et significatif au cours des services,
- des niveaux moyens plus élevés par rapport aux PNT, en J1 pour la rotation 3/3, en J1 et J2 pour la rotation 5/3.

Les différences observées entre les deux populations peuvent être liées à :

- la différence de composition des populations en termes d'âge et de sexe,
- le besoin de sommeil et la dette de sommeil plus importants pour les PNC,
- la nature de la tâche bien différente, avec des stations debout plus fréquentes pour les PNC (valeurs élevées de fatigue physique),

Effet	PNT				PNC			
	J1		J2		J1		J2	
	A	R	A	R	A	R	A	R
Somnolence	*	*	*	NS	*	*	NS	NS
Fatigue globale	*	NS	*	NS	*	*	*	*
Fatigue mentale	*	NS	*	NS	*	*	*	*
Fatigue sensorielle	*	*	*	NS	*	*	*	*
Fatigue physique	*	*	*	NS	*	*	*	*
Humeur	*	NS	*	NS	*	*	*	*

Effet A *: variation significative à $p < 0,05$, de la variable en fonction de l'amplitude de service avant la prise de mesure.

Effet R *: différence significative à $p < 0,05$, de la variable entre la rotation 3/3 et la rotation 5/3

NS : non significatif au seuil de 5%

(a)

Effet	Rotation 3/3				Rotation 5/3			
	J1		J2		J1		J2	
	A	P	A	P	A	P	A	P
Somnolence	*	*	*	NS	*	*	NS	*
Fatigue globale	*	*	*	NS	*	*	*	*
Fatigue mentale	*	*	*	NS	*	*	*	*
Fatigue sensorielle	*	*	*	NS	*	*	*	*
Fatigue physique	*	*	*	NS	*	*	*	*
Humeur	*	NS	*	NS	*	*	NS	*

Effet A *: variation significative à $p < 0,05$, de la variable en fonction de l'amplitude de service avant la prise de mesure.

Effet P *: différence significative à $p < 0,05$, de la variable entre les PNT et les PNC

NS : non significatif au seuil de 5%

(b)

Tableau 53

Synthèse statistique sur l'analyse de la somnolence, de la fatigue et des manifestations de la fatigue – Effets « Rotation » et « Amplitude de service » (a) – Effets « Personnel » et « Amplitude de service ».

• Comparaison des rotations 3/1 et 3/1 fractionné -

Rappelons que les services fractionnés débutent tôt (service du Matin). Après une première étape, les PN ont la possibilité de se reposer en escale à l'hôtel (escale d'environ six heures), pour ensuite effectuer les étapes 2 et 3 en fin d'après-midi voire en soirée.

Concernant les PNC, les effectifs très faibles (seulement 7 personnels) n'ont pas permis l'analyse statistique des données recueillies. Les données présentées en annexe K rendent seulement possible l'analyse descriptive quant à l'évolution des niveaux de somnolence, de fatigue et des manifestations de la fatigue.

Il semblerait qu'il y ait une tendance à l'accroissement du niveau de somnolence et de fatigue globale en fonction du rang du vol en J1 pour atteindre des niveaux relativement élevés en J2. Les niveaux pour les rotations 3/1 fractionnées ont tendance à être plus élevés que pour les rotations 3/1, ceci étant lié au lever tôt le premier jour et au faible pourcentage de sieste effectuée à l'hôtel pendant l'escale (50% des personnels)

L'analyse statistique de données recueillies auprès des 14 PNT révèle :

- une fatigue physique significativement plus élevée pour les rotations 3/1 fractionnées que pour les rotations 3/1 en J1,
- une augmentation significative de la fatigue mentale en J1, impactant considérablement sur la fatigue globale,
- une réduction significative de la somnolence après l'escale en J1 probablement liée à la sieste effectuée par 91% des PNT,
- une stabilisation significative des niveaux de fatigue mentale et sensorielle au retour de l'escale, à la fin du deuxième vol,
- aucune différence significative en J2 entre les évaluations des deux rotations.

Ces résultats montrent donc que l'impact «bénéfique» de l'escale n'est observable que lorsque les PN réalisent la sieste, avec une incidence directe sur la fin du service en « J1 ». L'effet « bénéfique » s'estompe en J2 en raison du second « lever tôt » avec apparition de niveaux de somnolence et de fatigue équivalents pour les deux rotations.

5.2.7.6.2 - L'évaluation subjective de la charge de travail

Les données permettant d'estimer la charge de travail ont été recueillies lors des accompagnements en vol à la fin de chaque étape.

• Comparaison des rotations 3/3 et 5/3 -

Le tableau 54 synthétise les résultats statistiques obtenus à partir d'une analyse de variance sur les réponses aux différentes échelles de la NASA-TLX. L'analyse a été réalisée pour chaque catégorie de personnel en fonction de l'amplitude de service précédant la mesure classée en tranche de trois heures et en fonction du type de rotation. Les résultats sont présentés en annexe L.

Concernant les PNT, les résultats montrent (cf. figure n°86):

- des niveaux de charge (effort global) de travail modérés à faibles,
- une charge de travail significativement supérieure pour la rotation 3/3,
- une augmentation de la charge de travail en J1 au delà de 6 heures de service,

Les réponses des PNC sont différentes et révèlent :

- des niveaux de charge de travail (effort global) plus importants que les PNT,
- une charge de travail significativement supérieure pour la rotation 5/3, à la fois en J1 et en J2 pour l'ensemble des items,
- une augmentation importante de la charge de travail en J2 au-delà de 6 heures de service.

La figure n°86 illustre les différences d'évolution de l'effort global fourni par les PN pendant les rotations 3/3 et 5/3. Théoriquement, la charge de travail devrait rester constante et seulement dépendre des tâches effectuées pour préparer, assurer la sécurité du vol et gérer les passagers. Les éventuelles fluctuations devraient donc seulement dépendre du nombre de vols dans le service pour une même catégorie de personnel et se traduire normalement par une augmentation de cette charge de travail lorsque le nombre de vols est plus élevé dans le service. Les variations observées de l'effort global semblent en fait davantage liées aux variations de l'état de veille ou de forme des PN et se traduisent par un accroissement en fin de service notamment après le repos réduit.

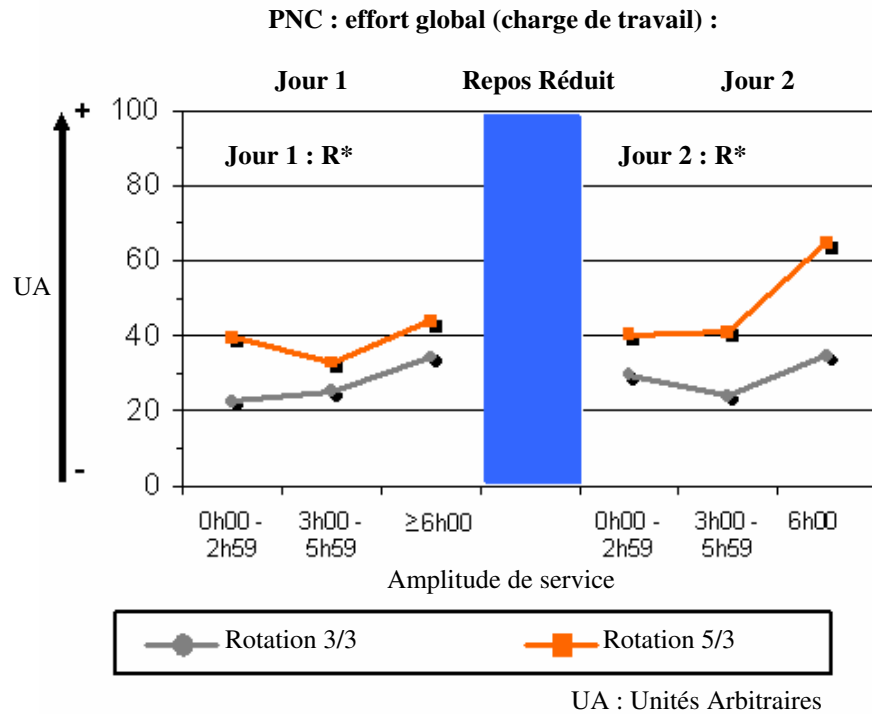
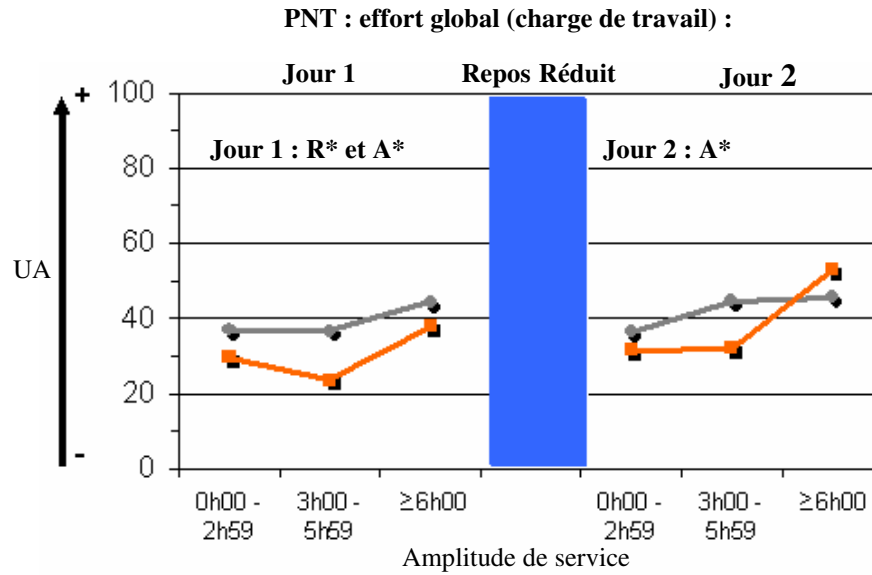
Effet	PNT				PNC			
	J1		J2		J1		J2	
	A	R	A	R	A	R	A	R
Effort mental	*	*	*	NS	*	*	*	*
Effort physique	*	*	NS	NS	*	*	*	*
Pression temporelle	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	*
Performance	*	*	*	*	(*)	*	NS	*
Effort global	*	*	*	NS	NS	*	NS	*
Niveau de frustration	*	*	NS	*	NS	*	NS	*

*Effet A **: variation significative à $p < 0,05$, de la variable en fonction de l'amplitude de service avant la prise de mesure.

*Effet R **: différence significative à $p < 0,05$, de la variable entre la rotation 3/3 et la rotation 5/3

NS : non significatif au seuil de 5%

Tableau 54
Synthèse statistique sur l'analyse des échelles de la NASA-TLX



Effet A : variation significative à $p < 0,05$, de la variable en fonction de l'amplitude de service avant la prise de mesure.*

Effet R : différence significative à $p < 0,05$, de la variable entre la rotation 3/3 et la rotation 5/3*

Figure n°86
Exemple de réponse en terme d'effort global –
Comparaison des rotations 3/3 et 5/3.

• Comparaison des rotations 3/1 et 3/1 fractionné -

Les résultats de l'analyse portant sur un faible effectif, seuls les graphes concernant la charge de travail des PNT sont édités en annexe M.

Très peu de tendances se dégagent. Les niveaux moyens aux différentes échelles restent faibles et sans grandes variations.

5.2.7.7 - Evaluation du niveau de contrainte pendant les rotations -

Rappelons qu'à la suite des premières observations en vol, une évolution des grilles de recueil de données a pu être réalisée en particulier pour prendre en compte l'ensemble des facteurs de contraintes (ex : météo, pannes, ATC,...) susceptibles d'augmenter le niveau de fatigue. Il a donc été demandé aux PN de spécifier un niveau de contrainte et la ou les contraintes qui ont contribué(s) à l'augmentation du niveau de fatigue pour :

- la préparation des vols,
- la phase de transfert à l'avion,
- chaque phase du vol (cf tableau T1),
- après le « Night stop ».

Les données ont été recueillies lors des accompagnements en vol et lors de la campagne d'auto-observation.

La comparaison des niveaux moyens de contrainte par vol a été réalisée afin de vérifier la cohérence du regroupement des réponses des deux modes de recueil. On pouvait émettre l'hypothèse que les niveaux de contraintes, grâce aux explications des expérimentateurs, soient mieux indiqués par les PN observés en vol.

Les résultats sont présentés en annexe (annexe Mb). Globalement, les niveaux de contraintes ne sont pas significativement différents. L'analyse portera donc sur l'ensemble des données recueillies.

Le tableau 55 présente les taux de réponses au cours de la rotation. Les PN se révèlent être très nombreux à indiquer leur niveau de contrainte au moment du recueil de données, soit globalement 97,3% pour les PNT et 91,2% pour les PNC.

A l'inverse, le taux de réponse diminue considérablement lorsqu'il leur est demandé de spécifier la ou les contraintes pouvant avoir une influence sur la fatigue. On peut se demander si cela est lié à un biais de conception du questionnaire, un manque de temps pour remplir ou tout simplement à l'absence de citation de contraintes liée à un faible niveau de contrainte.

Globalement, les PN sont très peu nombreux à déclarer des niveaux élevés de contrainte c'est-à-dire des niveaux à plus de 66 sur l'échelle de 100 unités (seulement 8,7% des PNT et 8,1% des PNC). 93,8% de ces PNT et 76,9% de ces PNC cochent au moins une contrainte sur le questionnaire contre respectivement 39,1% et 28,7% des PN avec des niveaux faibles.

	Niveau de contrainte		Type de contrainte	
	PNT	PNC	PNT	PNC
Préparation des vols	88,6%	88,3%	50,2%	38,6%
Transfert à l'avion	90,2%	90,6%	48,2%	33,3%
Vol – Phase 1	98,5%	93,8%	52,5%	35,6%
Vol – Phase 2	98,4%	93,1%	37,0%	34,0%
Vol – Phase 3	98,2%	92,1%	39,3%	24,2%
Vol – Phase 4	97,7%	92,7%	37,5%	37,5%
Vol – Phase 5	97,2%	91,0%	52,1%	26,1%
Vol – Phase 6	96,4%	86,4%	29,8%	15,9%
Vol – Phases 1 à 6	97,7%	91,5%	41,4%	28,9%
« Night Stop »	91,9%	83,9%	61,6%	50,0%
Global	97,3%	91,2%	42,5%	29,8%

Tableau 55
Taux de réponse concernant le niveau de contrainte pendant les vols

5.2.7.7.1 - Comparaison des rotations 3/3 et 5/3 -

Le nombre important de données recueillies pour les rotations 3/3 et 5/3 va permettre une comparaison approfondie de ces deux types de rotation.

• Avant les vols et pendant le « Night stop » -

La part des PN qui déclarent des niveaux élevés de contrainte reste faible pour la préparation des vols (moins de 9%) et le transfert à l’avion (autour de 20%) (tableau 56). Aucune différence significative n’est mise en évidence entre les rotations 3/3 et 5/3. Globalement, les contraintes citées sont :

- Les mesures de sûreté (41,7% de citations pour les PNT et 54,5% pour les PNC),
- La navette (41,7% de citations pour les PNT et 36,4% pour les PNC).

L’évaluation du niveau de contrainte du « Night stop » révèle des pourcentages significativement plus élevés pour la rotation 5/3 (annexe N). 44,4% des PNC et 27,6% des PNT déclarent des niveaux élevés de contrainte contre environ 10% pour la rotation 3/3.

47% de ces PN jugent la nuit très courte, l’heure d’arrivée trop tardive ou le lever trop tôt. 47% citent l’alimentation comme une contrainte, 37% le transfert aéroport-hôtel-aéroport et 22% l’hôtel. Il semblerait en effet que le niveau de contrainte tende à être plus élevé pour les hôtels situés à l’étranger (notamment pour les PNT).

	PNT			PNC		
	Rotation 3/3	Rotation 5/3	Test du Chi2	Rotation 3/3	Rotation 5/3	Test du Chi2
Préparation des vols	6,8%	8,9%	NS	0%	8,3%	NS
Transfert à l’avion	18,3%	22,4%	NS	6%	18,9%	NS
« Night stop »	10,7%	27,6%	3,953 p<0,05	9,7%	44,4%	7,180 p<0,01

Tableau 56
Pourcentage de niveaux élevés de contrainte –
Comparaison entre les rotations 3/3 et 5/3.

• Pendant les vols -

L'analyse du niveau de contrainte pendant les vols repose sur :

- les distributions de réponses par classe de 20 unités pour l'échelle de contrainte variant de 0 à 100, en fonction du rang du vol pour les services qui précèdent et suivent le repos réduit,
- l'évolution beaucoup plus détaillée, du pourcentage de citations d'un risque élevé de contrainte (supérieur à 60%), pour chaque phase de vol.

Globalement les vols en fin de service sont significativement plus contraignants qu'en début de service. Notons également que pour les PNT, le premier vol de la rotation 5/3 présente un niveau de contrainte plus important que les vols 2 et 3 (annexe O1).

Les distributions des réponses des PNC pour le service d'après-midi de la rotation 5/3 révèlent bien une augmentation du niveau de contrainte au cours du temps. Les niveaux de contraintes après le repos réduit sont globalement identiques quels que soient les vols et restent significativement supérieurs de ceux du premier vol du service d'après-midi avant le repos réduit.

Le taux de réponses en termes de spécification des contraintes est très variable en fonction de la phase du vol et du rang du vol. Ce taux varie de 10% à 84% de réponses pour les PNT et de 5% à 59% pour les PNC.

L'analyse détaillée pour les six phases de vol (annexe O2) révèle pour les rotations 5/3 des pourcentages élevés de contrainte pour :

- les PNT, en début de service, lié majoritairement aux retards, à l'état de l'avion et à l'assistance technique (71% contre 56% en 3/3).
- les PNC, pour les vols 4 et 5 du service avant le repos réduit et le vol 3 du service après repos réduit. Ces variations sont significatives. La comparaison a été réalisée avec le test du Chi2, pour une même phase et par rapport aux effectifs cumulés des vols 1, 2 et 3 du service d'après-midi, pris comme référence. Le faible taux de réponses des PNC concernant le choix des contraintes, ne permet pas de spécifier les raisons des niveaux élevés de contrainte.

Le niveau de contrainte semble être très lié au niveau de somnolence et de fatigue avec toutefois des disparités. La corrélation et les résultats au test de Spearman pour les différentes variables sont présentés dans le tableau 57 :

- le niveau de contrainte est significativement lié à la fatigue et non à la somnolence⁶ pour les PNT pendant les vols des rotations 3/3,
- pour les PNC, le niveau de contrainte est plus souvent significativement lié à la somnolence qu'à la fatigue,
- pendant les vols de la rotation 5/3, la liaison est significative entre le niveau de contrainte et la somnolence, entre le niveau de contrainte et la fatigue, avec des coefficients de corrélation plus élevés pour les PNC. Notons que les niveaux de somnolence se révèlent être très fortement liés aux niveaux de fatigue pour les PNT ($r = 0,725$; $p < 0,001$) comme pour les PNC ($r = 0,764$; $p < 0,001$).

Les différences liées à la fonction sont à rapprocher de la nature de la tâche, des postures de travail et de la charge de travail. L'impact des horaires et du déroulement de la rotation constitue un facteur supplémentaire de fatigue impactant probablement la sensibilité et la réaction des PN aux contraintes rencontrées pendant les vols.

⁶ Rappelons qu'au cours des observations en vol, une échelle de somnolence (c'est-à-dire évaluant une tendance à l'assoupissement) et une échelle générale de fatigue étaient utilisées conjointement

		Somnolence				Fatigue			
		Rotation 3/3		Rotation 5/3		Rotation 3/3		Rotation 5/3	
		PNT	PNC	PNT	PNC	PNT	PNC	PNT	PNC
Phase 1 (préparation du vol à l'avion)	r p	0,053 (NS)	0,180 (*)	0,198 (NS)	0,245 (*)	0,190 (*)	0,125 (*)	0,198 (*)	0,392 (*)
Phase 2 (roulage au départ)	r p	0,129 (NS)	0,274 (*)	0,430 (*)	0,335 (*)	0,305 (*)	0,245 (*)	0,357 (*)	0,444 (*)
Phase 3 (décollage-TOC)	r p	0,115 (NS)	0,124 (*)	0,353 (*)	0,296 (*)	0,277 (*)	0,111 (NS)	0,320 (*)	0,411 (*)
Phase 4 (croisière)	r p	0,180 (NS)	0,202 (*)	0,332 (*)	0,269 (*)	0,321 (*)	0,179 (*)	0,282 (*)	0,373 (*)
Phase 5 (descente, approche et atterrissage)	r p	0,134 (NS)	0,205 (*)	0,347 (*)	0,362 (*)	0,265 (*)	0,134 (NS)	0,371 (*)	0,522 (*)
Phase 6 (roulage à l'arrivée)	r p	0,185 (*)	0,166 (*)	0,382 (*)	0,365 (*)	0,348 (*)	0,171 (NS)	0,317 (*)	0,503 (*)

Tableau 57
Corrélation entre le niveau de contrainte, la fatigue
et la somnolence recueillis au cours des vols.
*** : effet significatif de la somnolence ou de la fatigue sur le niveau de**
contrainte

5.2.7.7.2 - Comparaison des rotations étudiées -

L'objectif est de comparer les rotations 3/3 et 5/3 aux autres rotations pour lesquelles un nombre suffisant de données ont été recueillies. Le tableau 58 présente les effectifs disponibles par vol.

	PNT	PNC
Rotation 3/3	53 - 57	26 - 30
Rotation 5/3	25 - 29	14 - 18
Service de jour avec une longue escale	11 - 13	13 - 17
Service de jour	9 - 13	7 - 10
Service du matin	5 - 9	5 - 10
Services successifs du matin	3 - 7	3 - 7

A – B : Effectif A minimal pour un vol – effectif B maximal pour un autre vol de la rotation

Tableau 58
Effectifs utilisés pour l'analyse des contraintes recueillies
au cours des rotations.

Une analyse en composante principale a été appliquée sur les niveaux de fatigue et de somnolence en fin de service et le niveau de contrainte pour chaque phase de vol.

Les résultats sont présentés en annexe P. Les corrélations importantes qui ressortent sont entre :

- le niveau de contrainte en « Phase de roulage au départ » et le niveau de contrainte en « Phase de décollage – TOC » pour les PNT ($r = 0,70$),
- le niveau de contrainte en « Phase de décollage – montée initiale » et le niveau de contrainte en « Fin de montée – croisière » pour les PNC ($r = 0,73$),
- le niveau de contrainte en « Phase de décollage – montée initiale » et le niveau de contrainte en « Descente, atterrissage, roulage » pour les PNC ($r = 0,71$),
- le niveau de contrainte en « Fin de montée - croisière » et le niveau de contrainte en « Descente, atterrissage, roulage » pour les PNC ($r = 0,78$),
- le niveau de contrainte en « Descente, atterrissage, roulage » et le niveau de contrainte en « Débarquement des passagers » pour les PNC ($r = 0,75$),
- le niveau de somnolence et le niveau de fatigue pour les PNC ($r = 0,73$).

Globalement, ces fortes liaisons montrent que les réponses des PNC indiquant des niveaux élevés de contrainte à une phase ont une forte probabilité de déclarer un niveau élevé à la phase suivante. Le niveau de contrainte n'étant pas très fortement corrélé avec la fatigue et la somnolence, il serait donc en relation

étroite avec le déroulement du vol. Rappelons que cette analyse porte sur l'ensemble des rotations, incluant des services peu fatigants.

Les axes 1 et 2 des graphes expriment 71,8% de la variance du nuage de points pour les PNT et 74,8% pour les PNC. L'application de l'ACP sur les données a pour but de fournir une représentation géométrique des données de manière à identifier des vols susceptibles d'être « pénibles » en termes de niveaux de contrainte, de fatigue et de somnolence.

Concernant les PNT :

- La préparation des vols est contraignante en début des rotations avec repos réduit notamment pour la rotation 5/3. La contrainte n'est en rien liée à la fatigue et à la somnolence.
- la somnolence et la fatigue augmentent au cours des services pour l'ensemble des rotations,
- les vols de fin de service après un repos réduit (vols 2 et 3 pour la rotation 3/3 et vol 3 pour la rotation 5/3) présentent des niveaux de contraintes plus élevés par rapport aux vols en début de service mais moins élevés que les deux derniers vols de service de journée ou du dernier vol du deuxième matin successif,
- les services successifs du matin ont un profil atypique, avec une fatigue qui augmente rapidement le premier jour et l'apparition de niveaux de contrainte élevés en relation avec la fatigue et la somnolence au cours du deuxième jour.

Concernant les PNC :

- la somnolence et la fatigue augmentent au cours des services pour les rotations 3/3, 5/3 et les services de journée avec ou sans escale,
- les rotations 5/3 présentent un profil complètement différent des rotations 3/3. Les niveaux de contrainte, la somnolence et la fatigue des vols 4 et 5 avant repos réduit et pendant les 3 vols après repos réduit sont très élevés. Les PNC déclarent plus de fatigue et de somnolence que pour la rotation 3/3.
- les niveaux de contraintes semblent être plus importants pour la rotation 5/3 que pour la rotation 3/3,

- au cours des services de jour, les PNC déclarent de faibles niveaux de fatigue et de somnolence,
- la fatigue, la somnolence et les niveaux de contrainte augmentent au cours des services de jour avec escale. Ces services, ont une très grande amplitude et semble avoir un impact important sur le vécu des PNC,
- les niveaux de fatigue, de somnolence et de contrainte sont plus élevés pour la rotation 5/3 que pour les services du matin (successifs ou pas).

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 et 5/3. 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 être 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. Ces résultats confirment bien les commentaires faits par les PNC pendant les vols.

5.2.7.8 - Comportement pendant les rotations -

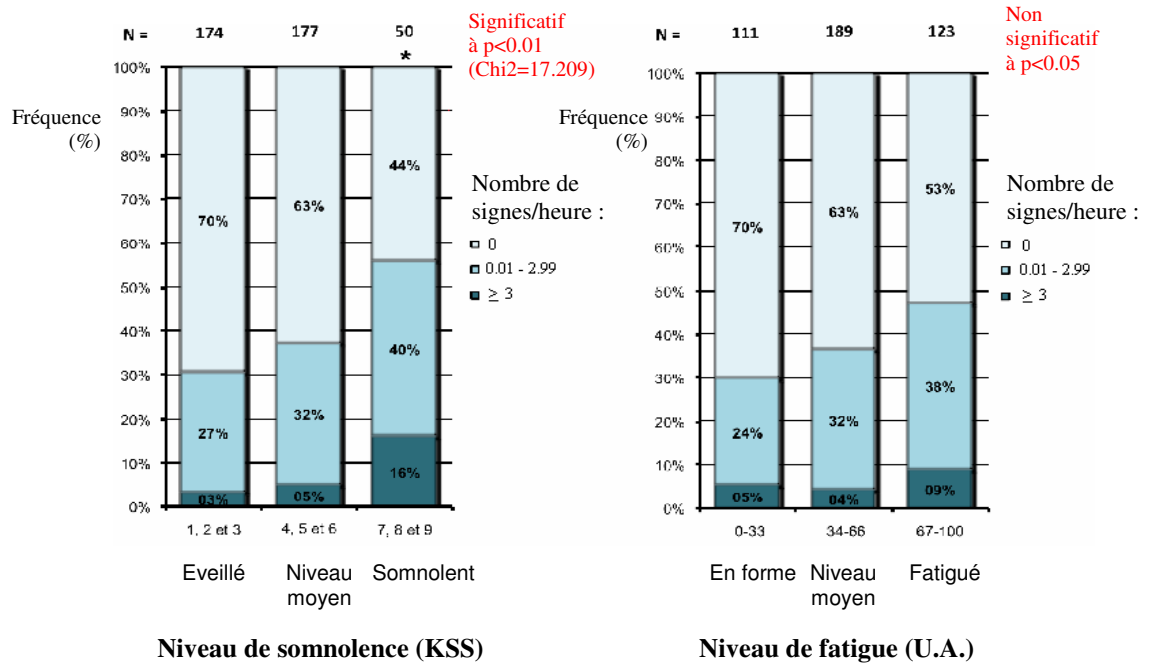
Comme cela a été mentionné, pour des raisons pratiques, seuls les PNT ont pu faire l'objet d'observations directes..

5.2.7.8.1 - Signes apparents de la fatigue -

On peut s'attendre à ce que la fatigue provoque une dégradation de l'état des PN avec apparition de signes physiologiques (gestes autocentrés, bâillements, changements fréquents de posture), de signes psychologiques ou de variation de l'humeur. L'analyse consistait donc à mettre en relation l'apparition de ces

différents signes comportementaux avec la fatigue et la somnolence. Les troubles observés auprès des PN pendant les accompagnements ont été dénombrés et rapportés à une heure de vol, puis les taux horaires obtenus ont été mis en relation après classification des PN en fonction de leur niveau respectif de fatigue et de somnolence.

La figure n°87 montre que les PN somnolents présentent un nombre horaire significativement plus important de signes physiologiques, psychologiques ou de dégradation de l'humeur ($\chi^2 = 17,209$; ddl = 6 ; $p < 0,01$). Malgré une tendance, il n'existe pas de relation statistique entre la fatigue et l'apparition de ces troubles comportementaux. Ce résultat conforte l'hypothèse d'une distinction entre somnolence et fatigue, la somnolence étant davantage associée à des signes manifestes.



* : répartition significativement différente au seuil de 5%
 U.A. : Unité Arbitraire

Figure n°87
 Evolution du nombre de signes physiologiques, psychologiques et de dégradation de l'humeur pendant les vols – Relation avec le niveau de somnolence (KSS) et la fatigue – N = 35 rotations.

L'analyse plus détaillée des signes observés pendant les rotations 3/3 et 5/3 révèle des variations significatives. Afin de rendre l'analyse statistique possible, le nombre de PNT présentant des signes ont été comptabilisés et regroupés pour :

- les vols 1, 2 et 3 des services d'après-midi avant le repos réduit,
- les vols 4 et 5 des services d'après-midi avant le repos réduit pour la rotation 5/3,
- les vols 1, 2 et 3 des services du matin après le repos réduit,

Les résultats présentés sur la figure n°88 révèlent :

- une augmentation significative des PNT présentant des signes apparents de la fatigue au cours des vols 4 et 5 de la rotation 5/3 par rapport aux vols 1, 2 et 3 de la rotation 3/3 ($\chi^2 = 7,231$; ddl = 2 ; $p < 0,05$) et par rapport aux vols 1, 2 et 3 de la rotation 5/3 ($\chi^2 = 20,497$; ddl = 2 ; $p < 0,001$),
- une augmentation significative du nombre de PNT avec des signes apparents de la fatigue au cours des vols après le repos réduit pour cette même rotation 5/3 ($\chi^2 = 7,054$; ddl = 2 ; $p < 0,05$). Cette augmentation se révèle être moindre que celle observée pour les vols 4 et 5.

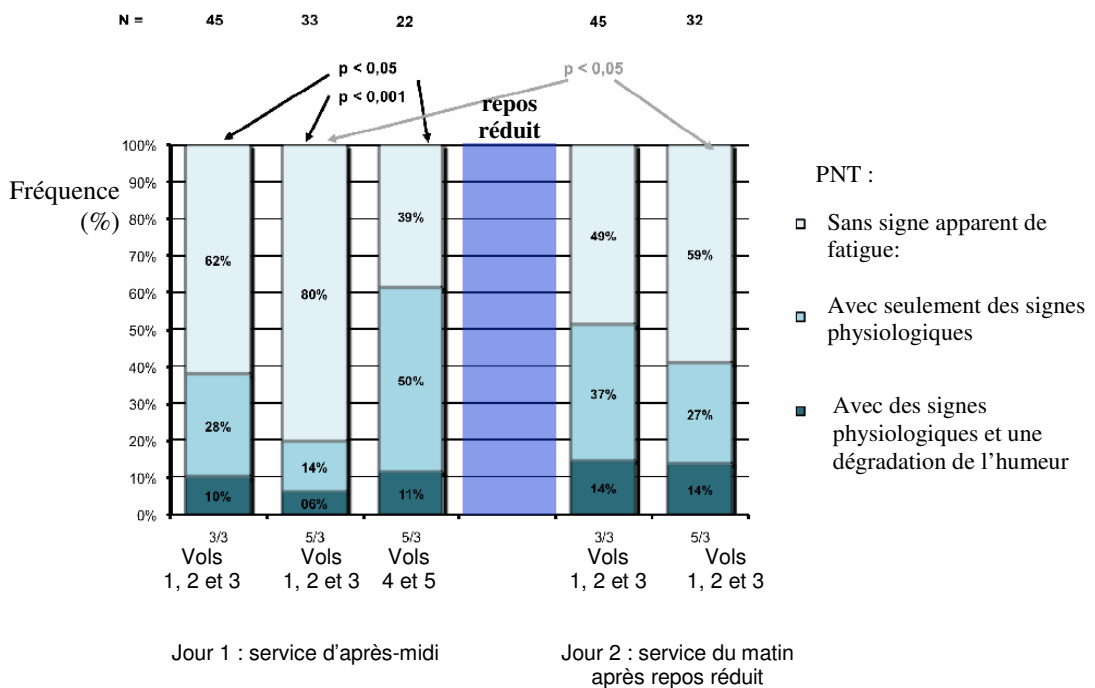


Figure n°88
Evolution du nombre de PNT avec des signes physiologiques, psychologiques et de dégradation de l'humeur pendant les vols – Comparaison entre les rotations 3/3 (N = 15) et 5/3 (N = 11).

5.2.7.8.2 - Impact de la fatigue sur l'activité -

Les principes de l'observation de l'activité

Les manifestations de la fatigue dans les activités professionnelles que décrit la littérature scientifique, aéronautique ou non, sont nombreuses., On peut les classer en :

- Manifestations autocentrées (activités motrices non finalisées telles que toucher son visage), bâillements, changements de posture,
- Modification de l'humeur,
- Modifications cognitives au niveau de l'attention, de la mémorisation, de la perception, de la compréhension, de la prise de décision,
- Modification des relations interpersonnelles dans le travail en équipage au niveau des communications, de la confiance et dans la gestion des ressources de l'équipage
- Evolution des façons d'appliquer les procédures, de faire les check-lists et les briefings, d'utiliser les systèmes d'aide,
- Plus grand nombre d'erreurs et plus grande difficulté à détecter et récupérer les erreurs commises.

Plusieurs aspects caractérisent l'ensemble des manifestations liées à la fatigue :

- Excepté les manifestations autocentrées et de bâillements, elles ne sont pas spécifiques à la fatigue. Cela signifie que leur occurrence ne peut être systématiquement attribuée à la fatigue. Pour savoir s'il y a un facteur de causalité fatigue, il faut les mettre en relation avec des mesures du niveau de fatigue.
- Certaines de ces manifestations sont directement observables car elles sont des comportements (par exemple, modification de l'humeur ou modification de la rigueur dans la façon de faire un briefing). D'autres ne sont pas directement observables et il faut les inférer à partir de comportements observables (un appel non pris en compte du contrôle aérien ne peut être attribué par la simple observation à une modification de l'attention, de la perception ou de la mémorisation).
- Chaque personnel navigant et chaque équipage a sa façon de travailler. Il existe une variabilité interindividuelle et inter-équipage. Dans l'analyse des manifestations de la fatigue, on se focalise sur les variations intra-individuelles et intra-équipage liées à la fatigue. Ce n'est pas tant de savoir comment travaillent les équipages qui a du

sens, mais de savoir comment leur travail évolue sous l'effet de la fatigue. Des équipages qui auraient des façons de travailler moins rigoureuses ne doivent pas être confondus avec des équipages dont la rigueur évolue sous l'effet de la fatigue ou de tout autre facteur. Chaque équipage doit être sa propre référence. La différence comportementale entre une situation "à faible fatigue" et une situation "à forte fatigue" chez un même équipage aura du sens pour apprécier l'impact de la fatigue. On ne peut pas prendre comme référence une activité « académique » dans le cockpit. La référence est l'activité réelle des équipages.

- La prise de conscience par l'équipage de ses propres comportements contribue aux adaptations nécessaires à la détection et la récupération de faits commis qui peuvent avoir un impact sur la performance et la sécurité. Dans une perspective d'évaluation de l'impact de la fatigue sur la sécurité, il est pertinent de rechercher s'il existe une évolution des comportements de détection et de récupération des équipages en fonction de leur niveau de fatigue..
- L'objectif des observations et de l'étude STARE n'est pas de déterminer un niveau de sécurité acceptable. Dans la perspective d'un SGS-RF, les observations permettent de comparer des vols avec des niveaux de fatigue faibles et élevés, de mettre éventuellement en évidence l'apparition de manifestations comportementales ainsi que leur proportion. Fonction des constatations auxquelles elle aboutit, la compagnie met en place, si nécessaire et sous le contrôle de l'autorité, les mesures nécessaires au maintien d'un niveau acceptable de sécurité des vols.

Grille d'observation

Pour mener à bien les observations de l'activité des équipages, une grille d'observation a été élaborée. Cette grille résulte de l'intégration de plusieurs données :

- Déroulé précis et exhaustif de la rotation en partant de l'arrivée à l'avion au début de la rotation jusqu'à la descente de l'avion après la dernière étape. Pour mettre à plat ce déroulé, un entretien a été mené avec deux PNT de chaque compagnie pour décrire les phases de vol et les actions de l'équipage. Les profils de vol étant similaires d'une compagnie à l'autre et au regard de l'activité aérienne des compagnies, il a été possible de définir une grille utilisable pour les 3 compagnies, même si au sein de chaque compagnie, il existe des particularités liées au type avion et à des façons de travailler dans la

compagnie qui ont été prises en compte.

- Les résultats des entretiens menés en début d'étude sur les facteurs de fatigue, les manifestations de la fatigue et la façon de gérer la fatigue au sein des équipages. Les résultats de ces entretiens ont été enrichis des données bibliographiques sur les conséquences de la fatigue sur l'activité des équipages. Il a ainsi été possible de dresser une liste des comportements potentiellement sensibles à la fatigue, ainsi que des comportements qui permettent leur détection et/ou leur récupération.
- Grille d'observations d'activités en situation de pilotage. Deux grilles sont fréquemment utilisées aujourd'hui parmi les méthodes d'observation de l'activité, celles de :
 - o La méthode LOSA (Line Operations Safety audit) centrée sur les erreurs,
 - o NOTECHS (Non Technical Skills) centrée sur les compétences non techniques des équipages. Les thèmes de NOTECHS sont la coopération, le leadership, la conscience de la décision et la prise de décision.

La grille d'observation élaborée dans le cadre de l'étude reprend certains items de ces grilles dans la mesure où ils pouvaient traduire une manifestation de la fatigue.

Méthodologie des observations

Les observations ont respecté un cadre très précis tout au long de la rotation. Pour cela, 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. Les critères qui ont guidé l'approche méthodologique sont :

- Observations effectuées en service normal,
- Participation volontaire des équipages,
- Données anonymes, confidentielles et axées sécurité,
- Instruments d'observation bien ciblés,
- Observateurs fiables et bien formés,
- Examen minutieux des données avant analyse,
- Communication des résultats aux pilotes.

La méthode mise en œuvre est la suivante :

- Observation faite par des spécialistes Facteurs Humains du LAA et de SynRjy ayant une longue expérience dans le domaine aéronautique,

- Familiarisation, validation et adaptation de la grille d'observation lors des premières rotations.
- Présentation des objectifs de l'étude aux équipages volontaires. L'objectif n'est pas d'évaluer les équipages, les observateurs n'en ont pas la compétence, mais de noter les modifications comportementales pertinentes, s'il en existe, au fur à mesure du déroulement de la rotation.
- Les observations ont lieu sur des vols d'exploitation.
- Début des observations en salle opérations de la compagnie dès la préparation de la rotation.
- Accompagnement de l'équipage tout au long de la rotation (avion, escale, hôtel), excepté pour l'arrivée à l'avion où les observateurs devaient suivre le circuit passager.
- Neutralité pendant le vol, pas d'intervention à chaud.
- Débriefing du vol et des points relevés pendant le vol après chaque étape.
- Présentation en fin de rotation des résultats de l'observation à l'équipage.

Recueil et mise en forme des données

Sur la base des manifestations comportementales en lien potentiel avec la fatigue que l'on peut observer en cockpit (tableau 59), les données ont été recueillies en vol sous la forme de tableau. Le tableau 60 présente un exemple de grille d'observations remplie. Il permet de rapporter à la fois les données contextuelles, le déroulé chronologique du vol avec les actions de l'équipage et les manifestations observées en relation avec des évolutions de comportements.

Comportements individuels	Signes de fatigue physique		
	Perception	Non perception Mauvaise perception	
	Compréhension		
	Raisonnement - Décision	Absence de décision Décision inadaptée	
	Erreurs	Lecture / Ecoute	
		Saisie, insertion	
		Oublis	
Stratégies de gestion de fatigue	Détection / récupération		
Travail en équipage	Communications	Non respect de la phraséologie	
		Baisse des communications	
	Leadership	Evolution du gradient d'autorité	
		Complaisance	
	Followership	Inversion d'autorité	
		Complaisance	
		Affirmation de soi	
	Réalisation des C/L (check lists), briefing	Non fait	
		Trop tard	
		Incomplet	
		Gestion des interruptions	
	Coopération / coordination	Réalisation	
		Partage des informations	
Suivi des modes			
Prise de décision partagée			
Erreurs	Plan d'action partagé		
	Détection / récupération		
Stratégie de gestion de la fatigue			
Travail hors cockpit	Au Sol (PNC, Mécano, chef avion, RZA, agent exploitation, etc.)	Absence d'écoute	
		Gradient d'autorité	
		Erreurs	
	En vol (PNC – ATC – Opérations)	Absence d'écoute	
		Gradient d'autorité	
Erreurs	Erreurs		
Erreurs	Détection / récupération		
Stratégie de gestion de la fatigue			

Tableau 59. Manifestations comportementales en lien potentiel avec la fatigue

PHASE D'OBSERVATION	Préparation vol et <u>préparation avion vols suivants</u> (Sans objet pour ce vol)			
	O	N	Contexte - Evénements	Observations - Débriefing
H +5: Avion calé CDB : Vérification papiers (MEL-TLB-CRA) Performance avion Limitations Température – flex PF vérification des centrales, FMS Tour avion Affichage des pleins	X		MTO : orages à l'arrivée	
	X		Décollage prévu à l'heure	
	X		Etape 3 du 3/3	
H - 20' Prise MTO/clairance	X			
H – 15 'Briefing Départ	X		OPL PF sur le vol	CDB préfère que l'OPL soit PF (au débriefing vol précédent, CDB a remarqué que l'OPL est fatigué et moins attentif, comme la MTO ne sera pas bonne, il préfère être PNF sur ce vol pour être plus disponible). Erreur d'insertion FMS de l'OPL : erreur détectée et récupérée lors du briefing départ.
H – 12 C/L préparation finale	X			
H - 10' Début embarquement Vérification des perfos avion	X			
H – 5' : Avant Mise en route Confirmation du départ ou complément briefing Confirmation du nombre de passagers Remise des documents par chef avion ou RZA Confirmation centrage Autorisation fermeture des portes Mise à jour vitesses de décollage Annonce commerciale Pax Mise en route et repoussage Demande de mise en route C/L avant mise en route Pushback (contact avec l'agent au sol) Mise en route en même temps que repoussage C/L après mise en route	X	X		C/L prise dans la main, récitée sans être lue par OPL

Tableau 60. Exemple de grille d'observation remplie au cours des premières phases d'un vol

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, PNF ou équipage), s'il avait détecté et récupéré, et par qui et comment. Un exemple de classification des faits est donné dans le tableau suivant.

Fait observé	Catégorie	Détection / récupération
Anti-icing : déconnecté tardivement	Action ou procédure tardive	
Briefing arrivée : fait tardivement	Action ou procédure tardive	Rappel du PF
Actions avant ATT: faites par PNF sans informer PF	Actions sans informer l'autre	A la demande du PF, PNF dit qu'elles sont faites
Baisse du flux de communication	Communication	
PA : Confusion dans l'engagement par PF	Confusion de perception	Détecter par PNF et reprise séquence
Clairance ATC de FL : doute sur compréhension du FL par PF	Confusion de perception	Confirmation auprès de l'ATC
Check-list : doute du PF si elle a été faite alors qu'elle a été faite	Confusion mémorisation	C/L refaite
ATC Autorisation atterrissage : doute	Confusion mémorisation	Rappel ATC
Configuration avion : doute sur volets à 45° par PNF	Confusion mémorisation	PF confirme
Elaboration du carton : erreur du PNF sur la masse à ATT	Erreur de calcul	Repris par PF
Check-list : fait de mémoire (sans sortie de la C/L)	Mauvaise procédure	
Non vérification par PF de l'arrivée qui est rentrée par PNF - confiance	Mauvaise procédure	
Trajectoire avion : Procédure d'ATT en dehors des minima	Mauvaise procédure	
Changement de FL par ATC : non entendu par PF et PNF	Non perception	Rappel de ATC
Communication cockpit : demande non entendue par PNF	Non perception	Rappel du PF
Approche rapide	Défaut de surveillance de paramètres	Réduction de vitesse par PNF / CDB après avoir averti le PF qu'il fallait réduire
Atterrissage rapide	Défaut de surveillance de paramètres	
Check-list : oubli de C/L	Oubli	
Check-list : oubli de reprise par PF après interruption	Oubli	PNF demande la reprise
Communication ATC : PNF oublie annoncer 4000 ft	Oubli	Rappel de ATC
PA : oubli affichage mode navigation par PF	Oubli	Détecter par PNF et corrigé
PA : PF oublie d'afficher le FL clairé par ATC	Oubli	Repris par PNF
Radio navigation : ADF non changé	Oubli	
Briefing décollage : CDB modifie la procédure en cas de panne	Prise de décision déviante	
Décision type atterrissage : PNF/CDB résiste à passer en CAT II	Prise de décision déviante	Insistance de PF et ATC
Briefing décollage : doute sur distance et erreur du PF sur virage en cas de panne	Projet d'action erroné	Repris par PNF
Roulage : se trompe de bretelle pour rejoindre la piste de décollage	Projet d'action erroné	Repris pas PNF
Briefing départ : mauvaise fiche départ (date) du PNF	Raté d'exécution	Détecter par PF
PA : erreur affichage FL par PF	Raté d'exécution	Détecter par PNF et corrigé
Erreur affichage ILS par PNF	Raté d'exécution	Vu par PF - non vu par PNF car IHM différente entre PF et PNF
PNC : PNF fait 2 fois le double gang (oubli qu'il l'avait déjà fait)	Répétition	PNC s'inquiète et demande pourquoi double gang
Décision masse autorisée décollage : erreur exploitation documentation	Compréhension inadaptée	
Trajectoire avion : PF se dirige vers mauvais QFU de la piste	Compréhension inadaptée	Repris par PNF
Changement de style de leadership	Travail en équipage	
Travail en équipage moins rigoureux	Travail en équipage	

Les catégories suivantes ont été retenues au regard des faits observés :

- Action ou application de procédure tardive,
- Mauvaise application de procédure ou procédure incomplète,
- Confusion dans la perception d'informations,
- Non perception d'une information,
- Confusion dans la mémorisation d'informations,
- Défaut de surveillance de paramètres lors d'action ou de supervision,
- Raté d'exécution,
- Répétition
- Oubli,
- Erreur de calcul,
- Prise de décision déviante,
- Projet d'action erroné,
- Compréhension incomplète ou inadaptée,
- Réalisation d'actions sans en informer l'autre membre d'équipage,
- Modification des communications,
- Travail en équipage.

Une fois cette classification effectuée, chaque fait observé a été mis en correspondance dans le vol de la rotation où il est survenu avec les autres données recueillies lors des observations, à savoir les auto-évaluations faites par les commandants de bord et les pilotes qu'ils soient PF ou PNF, 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. Les résultats sont présentés au chapitre suivant.

Traitement et résultats

Les résultats traitent dans une première partie des faits observés, puis dans une seconde partie des faits détectés et récupérés.

Faits observés

Sur l'ensemble des 35 rotations, 874 faits ont été collationnés. La répartition des faits en fonction des différentes catégories est présentée dans le tableau 61.

Catégories de faits observés	Pourcentage des 874 faits
Action ou application de procédure tardive	1,0%
Mauvaise application de procédure ou procédure incomplète	17,4%
Confusion dans la perception d'informations	8,1%
Non perception d'une information	10,5%
Confusion dans la mémorisation d'informations	10,6%
Défaut de surveillance de paramètres lors d'action ou de supervision	5,9%
Raté d'exécution	10,9%
Répétition	2,1%
Oubli	21,6%
Erreur de calcul	1,6%
Prise de décision déviante	2,2%
Projet d'action erroné	0,6%
Compréhension incomplète ou inadaptée	1,6%
Réalisation d'actions sans en informer l'autre membre d'équipage	1,5%
Modification des communications	1,8%
Travail en équipage	2,5%

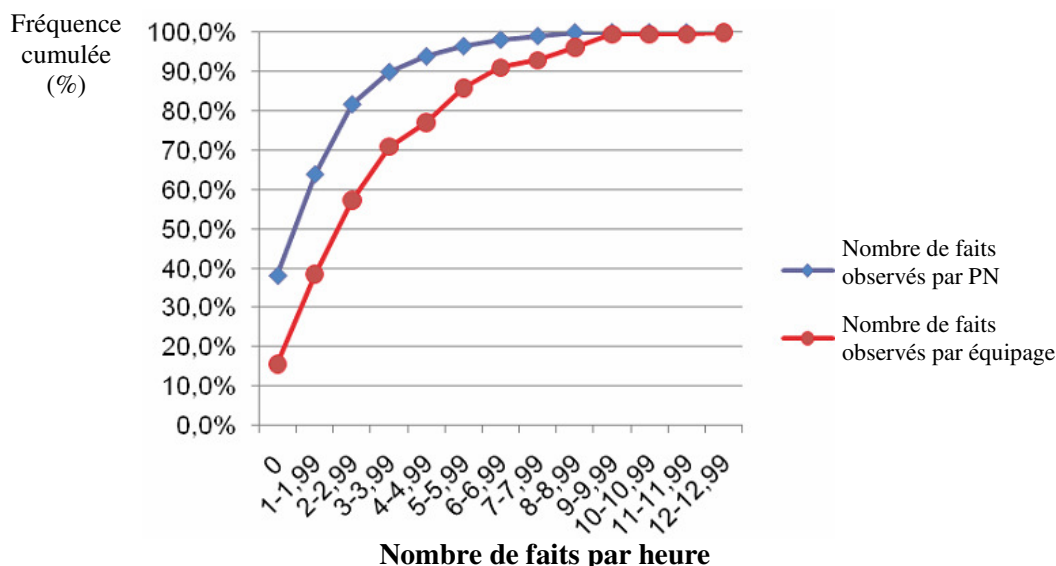
Tableau 61. Répartition des faits par catégorie

On peut noter que les faits les plus fréquents sont retrouvés dans 5 catégories qui sont par ordre décroissant :

- Les oublis (21,6 %),
- La mauvaise application de procédure ou l'application de procédure incomplète (17,4 %). On mentionnera que l'on retrouve dans cette catégorie les écarts observés dans la réalisation des check-lists.
- Les ratés d'exécution, la non perception d'une information et la confusion dans la mémorisation d'informations à des taux légèrement supérieurs à 10%.

Le faible nombre des faits observés pour certaines catégories oblige à traiter les faits dans leur ensemble pour faire des comparaisons qui aient une valeur statistique.

La figure n°89 montre que le nombre de faits observés par heure de vol reste faible. Près de 90% des nombres de faits par PN et par heure de vol se situent entre 0 et moins de 4. Rapporté à l'équipage, cette fourchette concerne 70% des équipages. 90% des faits observés des équipages par heure se situent entre 0 et moins de 7.



**Figure n°89. Evolution du nombre de faits observés par heure de vol et par PN
N = 35 rotations.**

Une première analyse a consisté à comptabiliser le nombre de faits observés par PNT et à le mettre en relation avec les niveaux de fatigue et de somnolence de ces personnels (figures 90 et 91), évalués par auto-questionnaires (KSS et échelle analogique). Trois niveaux sont définis pour la somnolence en fonction des résultats à la KSS :

- Niveau faible de 1 à 3,
- Niveau moyen de 4 à 6,
- Niveau élevé de 7 à 9.

Trois niveaux sont définis pour la fatigue en fonction des résultats à l'échelle analogique de fatigue :

- Niveau faible de 0 à 33 %,
- Niveau moyen de 34 à 66 %,
- Niveau élevé de 67 à 100 %.

Les résultats présentés portent sur 242 mesures PNT.

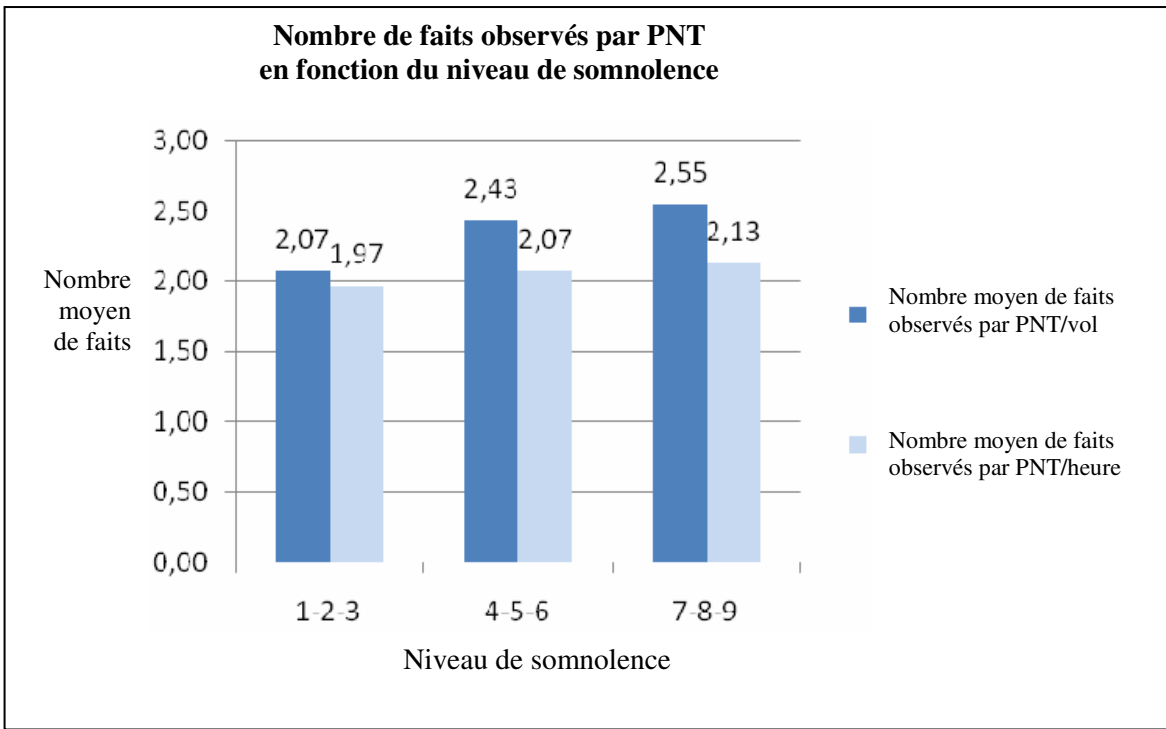


Figure n°90. Faits observés par PNT en fonction du niveau de somnolence

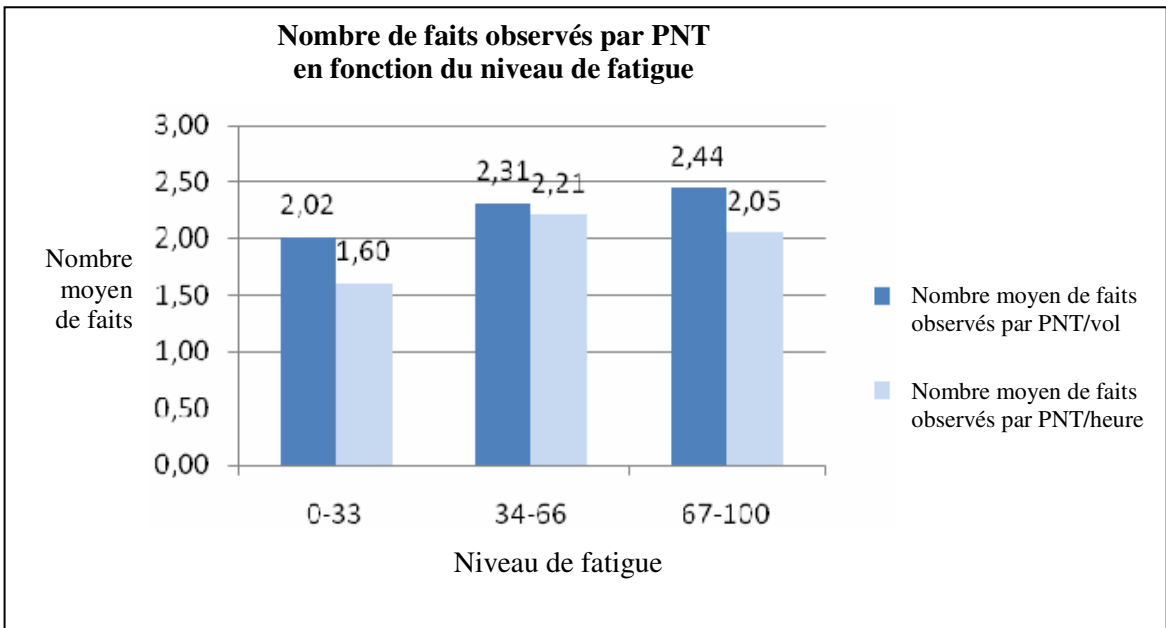


Figure n°91. Faits observés par PNT en fonction du niveau de fatigue

Sur ces deux figures, on a distingué deux modes de calcul du nombre des faits moyen par PNT :

- Le nombre moyen par vol,
- Le nombre moyen rapporté à l'heure de vol.

Le nombre moyen par vol permet de disposer d'un indicateur plus opérationnel car il se rapporte à l'unité opérationnelle de l'activité aérienne. Toutefois, même si les vols observés étaient des vols régionaux, il existe une disparité importante allant du simple au double dans les vols observés. En ramenant les données à l'heure du vol on dispose d'un indicateur plus fiable pour comparer les données. Toutefois, cet indicateur a aussi ses limites car la répartition d'observation des faits dans le vol n'est pas régulière en fonction des phases. L'augmentation de la durée du vol se caractérise par une augmentation de la phase de croisière qui n'est pas la phase où les activités de l'équipage sont les plus nombreuses.

Ces figures montrent qu'il y a une augmentation du nombre de faits observés avec les niveaux les plus élevés de somnolence et de fatigue. Cette augmentation est progressive et régulière pour la somnolence que le nombre de faits moyen soit calculé par vol ou par heure. Pour la fatigue, elle est régulière pour le nombre de faits moyen par vol. Pour le nombre de faits moyen par heure, il existe une différence entre le niveau faible de fatigue et les niveaux moyen et élevé de fatigue, les 2 niveaux les plus élevés étant proches.

La fonction occupée par le pilote dans le cockpit (PF ou PNF) peut avoir un impact sur le nombre de faits observés. Les figures 92 et 93 montrent les résultats pour les PF et les PNF pour la somnolence (KSS) et la fatigue (échelle analogique). Les résultats présentés portent sur 120 PF et 122 PNF. Pour simplifier la présentation, seuls les résultats du nombre de faits moyen par heure sont figurés.

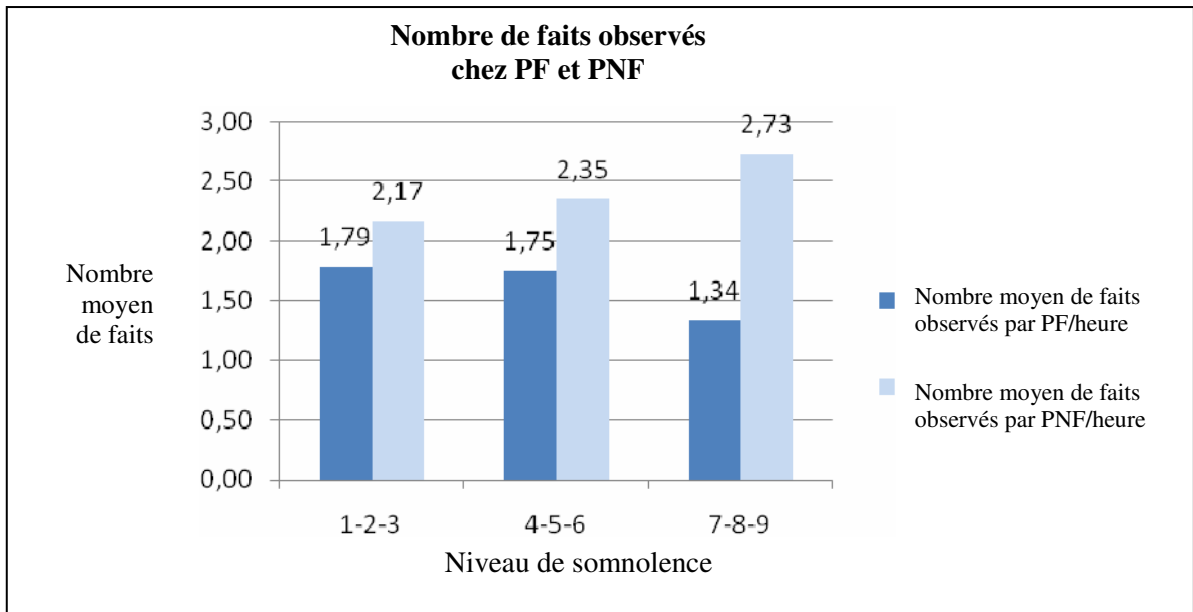


Figure n°92. Faits observés chez les PF et PNF en fonction du niveau de somnolence

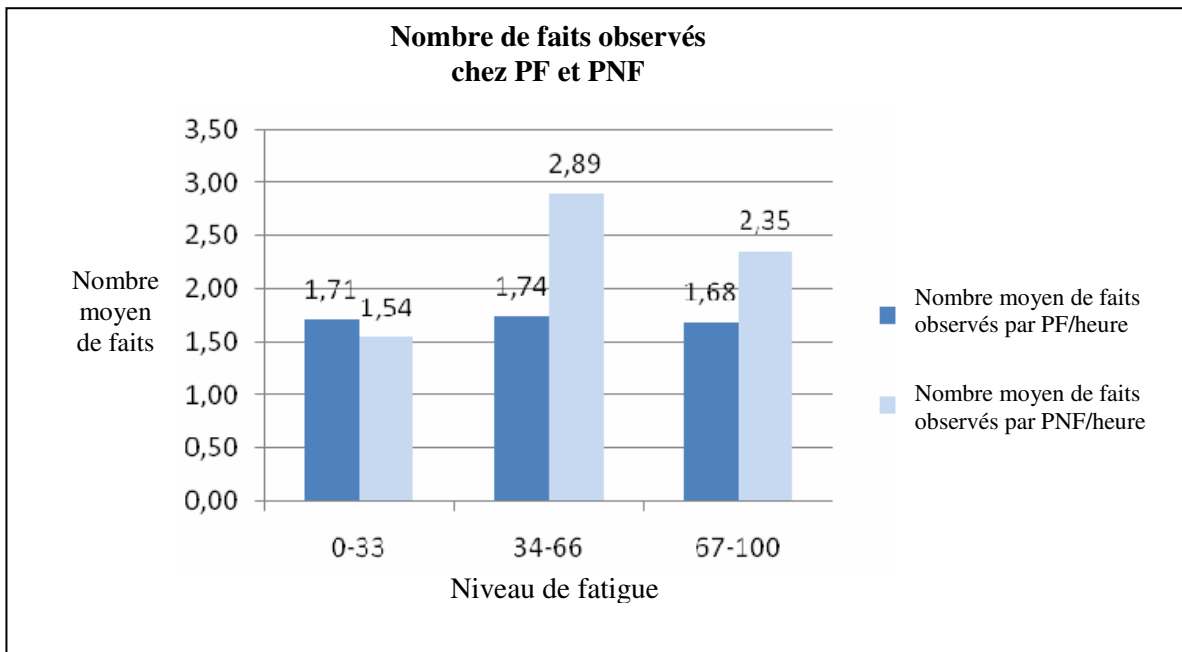


Figure n°93. Faits observés chez les PF et PNF en fonction du niveau de fatigue

Ces figures sont intéressantes car elles montrent que le nombre moyen de faits observés ne varie pas de la même façon suivant que le pilote est PF ou PNF et ce que ce soit pour le niveau de somnolence ou pour le niveau de fatigue.

Pour la somnolence, on observe une tendance des PF à faire moins de faits quand le niveau de somnolence augmente alors que c'est l'inverse pour les PNF, comme si l'augmentation globale des faits avec le niveau de somnolence était due aux comportements des PNF. Les PNF ont tendance à toujours produire plus de faits que les PF quel que soit le niveau de somnolence.

Pour la fatigue, on peut constater que les PF produisent des faits observés stables quel que soit le niveau de fatigue, alors qu'on observe plus de faits chez les PNF pour les niveaux moyen et élevé que pour les niveaux faibles de fatigue. Pour les niveaux moyen et élevé de fatigue, les PNF ont tendance à produire plus de faits que les PF, alors que cela est équivalent pour les niveaux de fatigue les plus faibles.

Ces résultats vont dans le sens de comportements différents au regard de l'accentuation des niveaux de fatigue et de somnolence en fonction de la position PF ou PNF occupée dans le cockpit.

Une autre approche est d'analyser le nombre de faits observés par équipage en fonction du rang de l'étape dans la rotation sur les rotations 3/3 et 5/3 avec nuit courte. La figure n°94 présente les résultats de cette analyse. Le nombre de faits sont présentés par comparaison des équipages chez qui moins de 4 faits ont été observés et des équipages chez qui plus de 4 faits ont été observés.

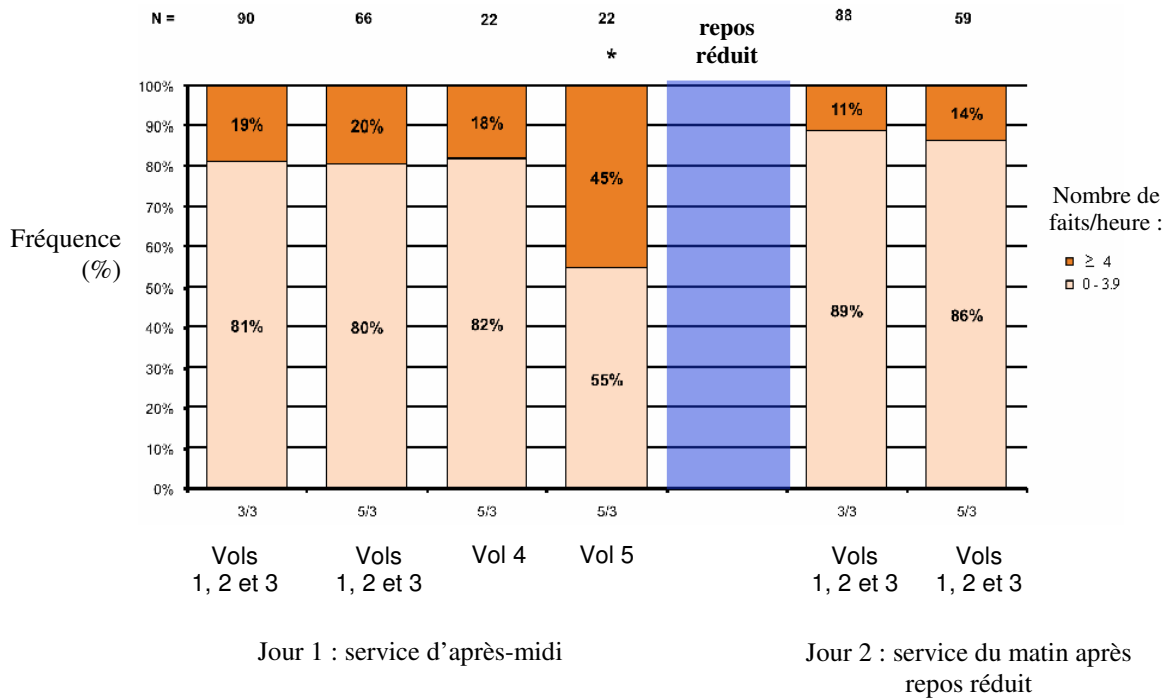


Figure n°94. Nombre de faits en fonction du rang de l'étape dans les rotations 3/3 (N = 15) et 5/3 (N = 11).

La figure montre une augmentation significative du nombre de faits pour la cinquième étape de fin d'après-midi en raison d'un pourcentage plus élevé d'équipages chez qui plus de 4 faits sont observés. Compte tenu des effectifs, la répartition pour ce vol 5 a été comparée à la répartition des vols 1, 2 et 3 regroupés ($\chi^2 = 5,670$; ddl = 1 ; $p < 0,02$) et à la répartition du vol 4 ($\chi^2 = 3,771$; ddl = 1 ; $p < 0,055$).

Après avoir analysé le nombre de faits observés en fonction du rang de l'étape, l'analyse a porté sur l'impact de la fatigue de l'équipage sur les faits observés. La fatigue de l'équipage a ici été quantifiée à partir des auto-évaluations individuelles par échelle analogique de fatigue. Tout comme pour les résultats individuels présentés ci-dessus, trois niveaux de fatigue sont définis :

- F- : le PNT a déclaré un niveau de fatigue en fin de vol inférieur à 33%,
- F0 : le niveau de fatigue en fin de vol est compris entre 33 et 66%,
- F+ : le niveau de fatigue en fin de vol est supérieur à 66%.

En combinant pour chaque équipage les trois niveaux de fatigue de chaque membre d'équipage, on obtient six niveaux de fatigue pour l'équipage : (2F-), (F- et F0), (F- et F+), (2F0), (F0 et F+) et (2F+). La figure n°95 illustre la répartition du nombre de faits observés pour les 6 niveaux de fatigue de l'équipage.

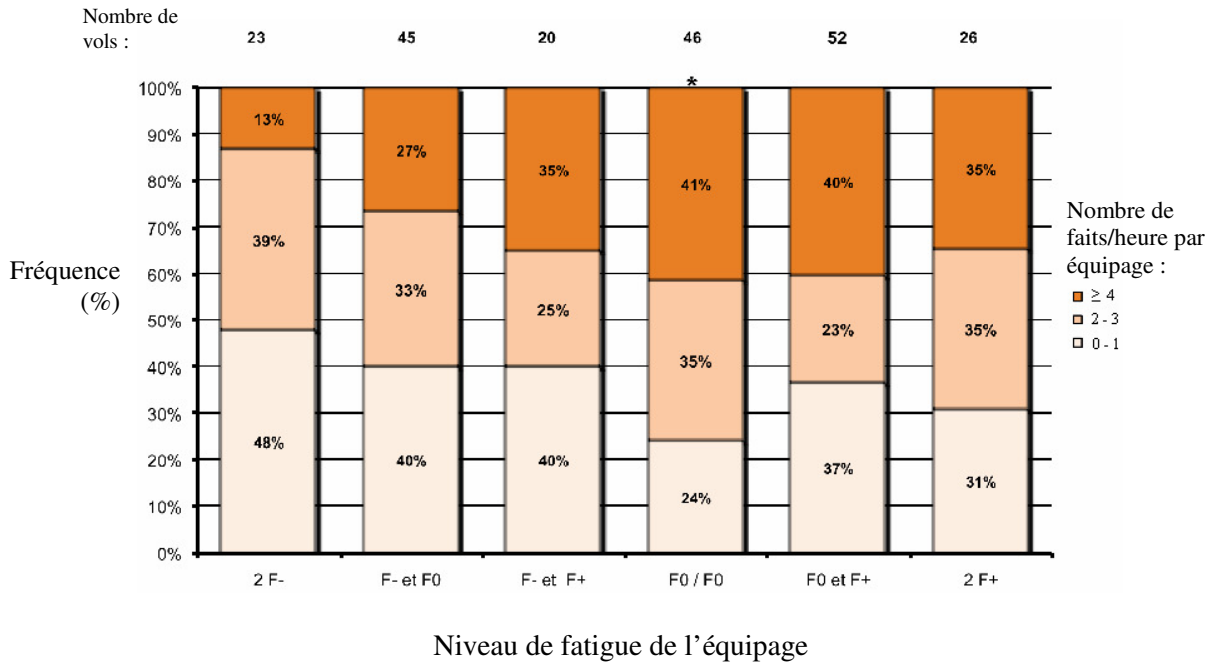


Figure n°95. Evolution du nombre de faits par équipage – Analyse en fonction des « typologies de fatigue » - N = 35 rotations.

La figure permet de constater que le pourcentage d'équipages chez qui sont observés plus de 4 faits est plus important significativement pour les équipages dont le niveau de fatigue combiné est 2F0. En conséquence, le nombre de faits observés pour ce niveau de fatigue (2F0) est significativement plus important que pour les autres niveaux de faits (pour la comparaison 2F0 et 2F-, $\text{Chi}^2 = 6,671$; ddl = 2 ; $p < 0,05$; pour la comparaison 2F0 et F-F0 , $\text{Chi}^2 = 6,154$; ddl = 2 ; $p < 0,05$).

Ce résultat est intéressant car si on l'analyse avec les résultats individuels de la fatigue mesurée avec la même méthode, on s'aperçoit 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 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. Ainsi, une analyse du risque fatigue au niveau de l'équipage constitué apparaît également pertinente.

Faits détectés

Dans un premier temps, on s'intéresse aux PNT pris individuellement et aux détections et récupérations des faits observés. On va analyser les détections au regard du niveau de somnolence et du niveau de fatigue. Tout comme pour les faits observés, les niveaux de somnolence et de fatigue sont évalués à partir d'auto-questionnaires (KSS et échelle analogique de la fatigue). Les niveaux de somnolence et de fatigue sont les mêmes que ceux utilisés pour les faits détectés.

Les figures 96 et 97 montrent les résultats pour l'ensemble des mesures PNT, à savoir 242 mesures. Tout comme pour faits observés, les pourcentages ont été calculés en rapport avec le vol ou ramenés à une heure de vol. On ne présentera ici que les résultats par vol, les résultats par heure de vol évoluant avec une grande similitude.

Dans les tableaux présentés, on mesure 3 variables :

- Pourcentage de détection (% détection / vol). C'est le pourcentage de détection des faits observés par vol quel que soit l'opérateur qui fait la détection (celui qui est à l'origine du fait, l'autre pilote, l'ATC, une alarme, etc.). Ce taux de détection dépend des membres d'équipage mais aussi d'autres acteurs extérieurs comme l'ATC qui ne sont pas soumis aux mêmes facteurs de fatigue que l'équipage.
- Pourcentage d'auto-détection (% auto détection / vol). C'est le pourcentage de faits détectés par un pilote des faits qui ont été observés dans son activité. Ce pourcentage mesure la détection de chaque membre d'équipage vis-à-vis des faits observés chez lui. Il n'intègre pas la détection des faits observés chez l'autre membre d'équipage.
- Pourcentage d'auto-détection par rapport aux faits détectés (% auto détection % détection). Ce pourcentage est lié à la détection croisée de l'autre membre d'équipage et aux détections d'acteurs extérieurs au cockpit (ATC)

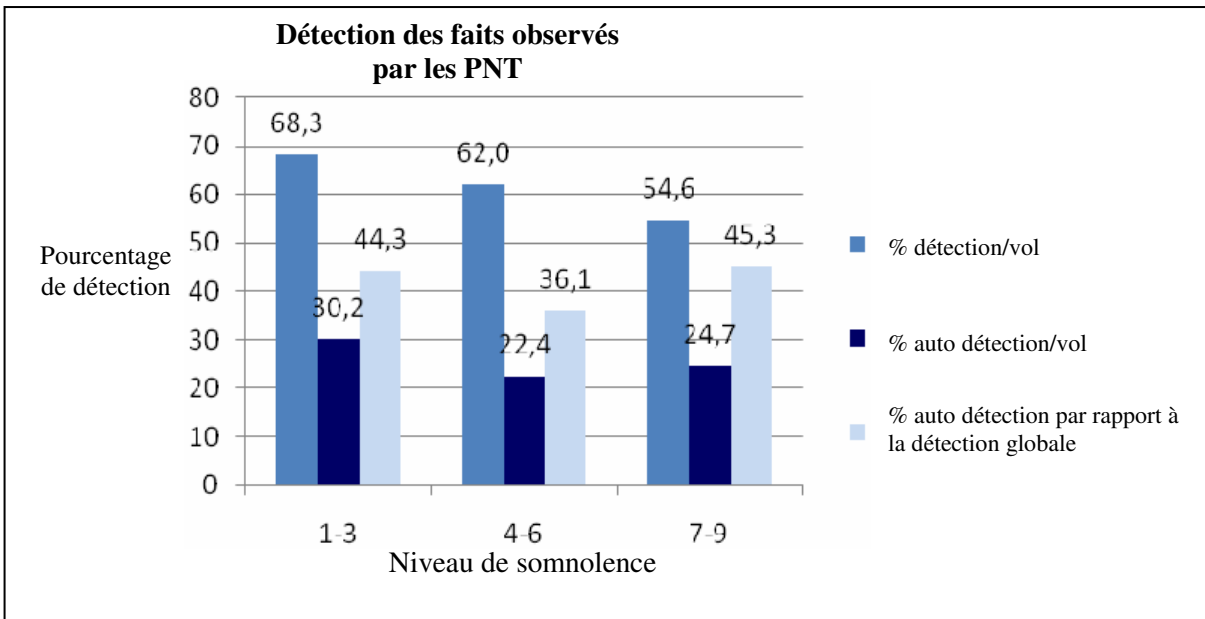


Figure n°96. Détection des faits observés en fonction du niveau de somnolence des PNT

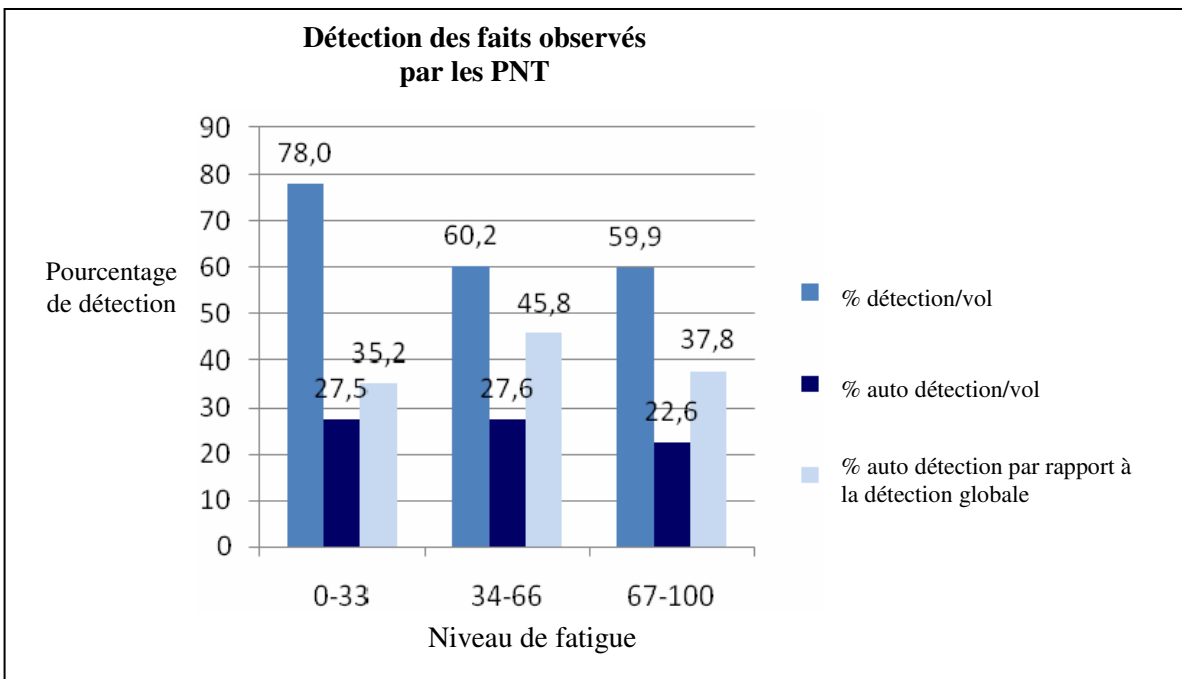


Figure n°97. Détection des faits observés en fonction du niveau de fatigue des PNT

Même si cette évolution ne peut être exclusivement rattachée à la fatigue des PNT, on peut noter que le pourcentage de détection des faits observés pour chaque PNT décroît en fonction de l'augmentation des niveaux de fatigue et de somnolence. La décroissance est progressive pour la somnolence, elle est marquée entre le niveau faible et les niveaux moyen et élevé pour la fatigue.

Le pourcentage d'auto-détection par rapport à l'ensemble des détections des faits observés chez le PNT évolue inversement suivant le niveau de somnolence ou de fatigue. Pour la somnolence, on constate une évolution en U avec des taux équivalents pour les niveaux faible et élevé, et supérieur au niveau moyen. Pour la fatigue, l'évolution est en U inversé, avec des taux plus bas de détection pour les niveaux faibles et élevés de fatigue. Le pourcentage d'auto-détection étant influencé par les autres acteurs de la détection (en particulier l'autre membre d'équipage et l'ATC qui sont les deux autres acteurs les plus fréquents dans la détection), ces variations peuvent signifier la présence de mécanismes de régulation entre les deux membres d'équipage suivant les niveaux de somnolence et de fatigue de chacun.

Tout comme pour les faits observés, la fonction occupée par le PNT dans le cockpit (PF ou PNF) peut être à l'origine de variations dans les comportements d'auto-détection. Les figures 98 et 99 permettent de comparer l'auto-détection chez les PF et les PNF. Les résultats présentés portent sur 120 PF et 122 PNF.

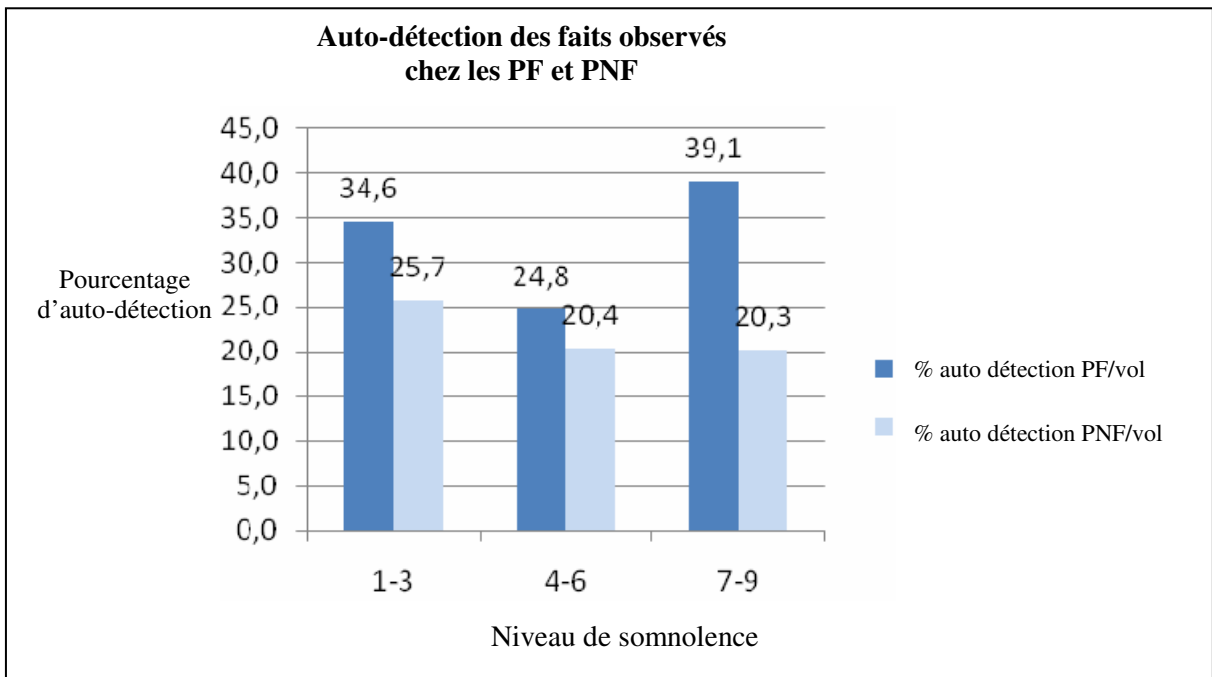


Figure n°98. Auto-détection des PF et PNF en fonction du niveau de somnolence

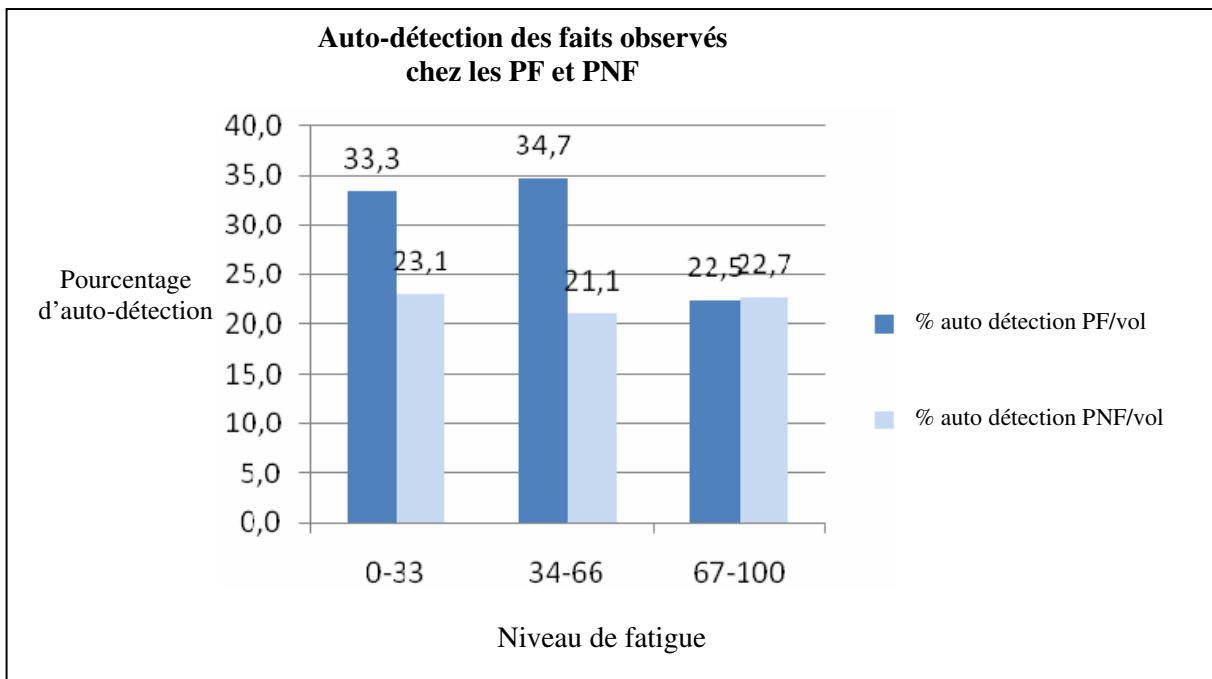


Figure n°99. Auto-détection des PF et PNF en fonction du niveau de fatigue

Au niveau de la somnolence, on peut noter une évolution différente de l'auto-détection suivant le niveau de somnolence selon la fonction occupée dans le cockpit (PF ou PNF). Les PF ont tendance à avoir un niveau élevé d'auto-détection pour les niveaux de somnolence les plus élevés alors que l'auto-détection des PNF décroît avec l'augmentation du niveau de somnolence. L'auto-détection des PF a tendance à toujours être supérieure à celle des PNF.

Pour la fatigue, l'auto-détection des PNF est stable quel que soit le niveau de fatigue alors que celle des PF a tendance à diminuer pour les niveaux les plus élevés de la fatigue. L'auto-détection des PF a tendance à toujours être supérieure à celle des PNF pour les niveaux faible et moyen de la fatigue alors qu'elle est équivalente à celle des PNF pour les niveaux élevés.

Au sein de l'équipage, il est intéressant d'évaluer l'auto-détection de l'équipage en fonction du niveau de fatigue de ce dernier. On reprend pour cela la classification en 6 niveaux de la fatigue de l'équipage fondée sur les 3 niveaux individuels à partir de l'échelle analogique de fatigue décrite précédemment. La relation entre le nombre de faits observés détectés par l'équipage et son niveau de fatigue est représentée dans la figure n°100.

Auto-détection de l'équipage en fonction du niveau de fatigue

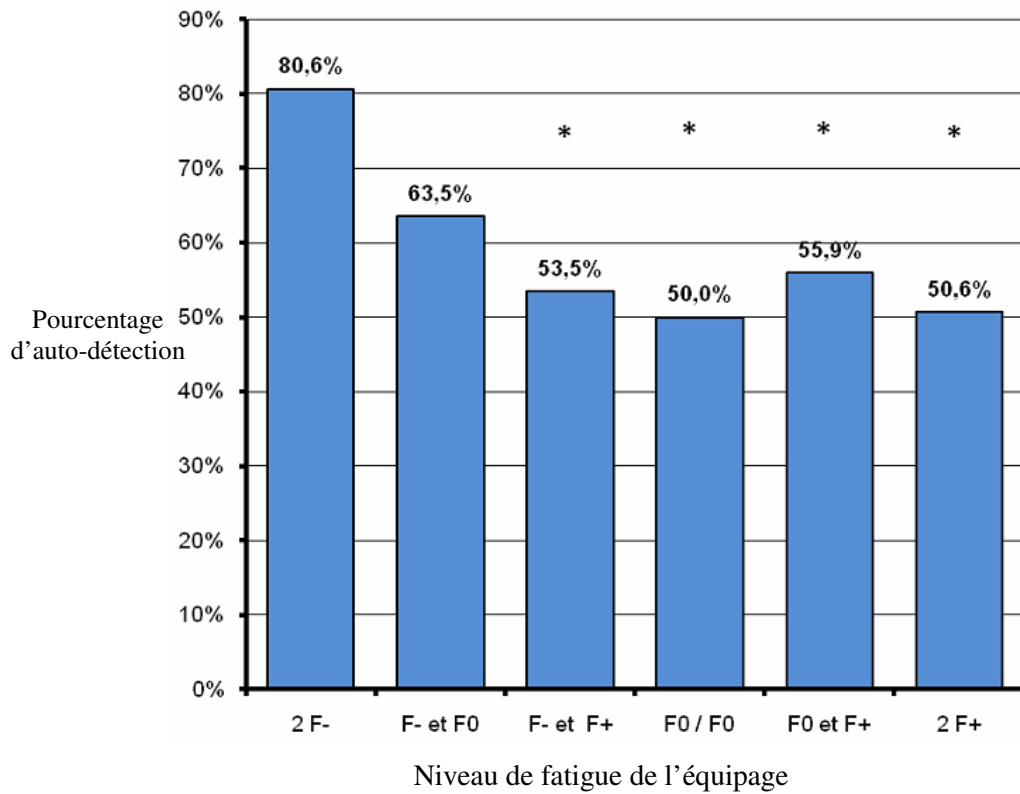


Figure n°100. Auto-détection de l'équipage des faits observés en fonction du niveau de fatigue

L'analyse de la fatigue de l'équipage montre qu'il existe des différences significatives dans l'auto-détection des faits observés en fonction du niveau de fatigue. Ces différences existent lorsqu'on compare les taux d'auto-détection des niveaux (F-,F+), (2F0), (F0,F+) et (2F+), c'est-à-dire les niveaux les plus élevés avec le niveau le plus faible (2F-). Ce résultat confirme les différences observées individuellement et souligne que les variations d'auto-détection individuelles entre PF et PNF ne suffisent pas à engendrer une baisse de l'auto-détection de l'équipage par rapport au niveau de fatigue F0/F0.

Conclusion

Les niveaux élevés de fatigue et de somnolence ont tendance à se traduire par une augmentation du nombre de faits observés ainsi que par une baisse de l'auto-détection individuelle. Il faut cependant souligner que ces variations ne sont pas linéaires, raison pour laquelle il est fait mention de tendance.

On note des différences entre PF et PNF, les PF ayant généré moins de faits et en ayant détecté plus alors que c'est l'inverse avec les PNF.

Pour un équipage constitué, 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 de mécanismes de régulation au sein de l'équipage qui dépendent du niveau de fatigue de chacun des membres d'équipage et de la fonction occupée pendant le vol (PF ou PNF). Sur la base de ces résultats, ces mécanismes semblent plus efficaces pour limiter les faits observés que pour faciliter l'auto-détection au sein de l'équipage.

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. L'observation permet d'appréhender des manifestations de la fatigue qui ne sont pas collectées par d'autres méthodes. Toutefois, on se rend compte à travers l'étude STARE que la mise en œuvre de l'observation en vol est une méthodologie contraignante.

Tout d'abord elle ne peut s'envisager de façon unique ou sur peu d'échantillons. Dans ce cas, c'est une observation "clinique" qui cherche à comprendre un enchaînement d'événements. Son indication peut être justifiée lorsqu'on est face à des circonstances peu connues, mais elle ne s'inscrit pas dans une logique de représentativité de l'activité des équipages.

Pour être représentative d'une activité des équipages, l'observation doit être répétée sur des nombres importants de vols et/ou de rotations. Les variabilités inter et intra individuelle mais aussi inter et intra équipages associés à des conditions d'exploitation très variées pour une même rotation (allant de contraintes très faibles à des contraintes très fortes) sont autant de biais à l'observation qu'il faut contrôler par l'augmentation de l'échantillon étudié.

Les observations se doivent de respecter certaines règles pour être valides :

- Neutralité de l'observateur pour éviter un biais de comportement de la part des équipages,
- Définition et respect strict d'un protocole d'observation, car toute observation en vol ne peut être exhaustive et est soumise à la subjectivité de l'observateur.
- Respect des critères "Normal Operation Monitoring" préconisés par IATA et OACI. Ces critères sont essentiels pour fixer le cadre des observations avec les équipages (objectifs, anonymat, débriefing, etc.) afin de créer les conditions optimales pour leur réalisation.
- Compétences Facteurs Humains de l'observateur en sus des compétences techniques opérationnelles.
- Formation spécifique pour mettre en œuvre une méthodologie d'observation de l'activité des équipages.

Ces constats font que l'observation en vol ne peut être utilisée en première intention dans la cadre d'un SGS-RF. Elle n'est pas adaptée au format des petites compagnies, excepté dans le cadre d'une approche "clinique". Pour les compagnies plus importantes, elle requiert un degré de maturité envers le SGS-RF afin qu'elle apporte tous les résultats escomptés.

5.2.8 - Synthèse des résultats

Il a été choisi de résumer les résultats en comparant :

- des services du matin (Matins) et des services du matin après un repos réduit (RR) (tableau 62),
- les rotations 3/3 et 5/3 (tableau 63),
- les rotations 3/1 et 3/1 fractionnées (tableau 64).

	Services du matin (Matins)		Services du matin après repos réduit (RR)
Dettes de sommeil	-35,7%	<	-40,6%
Dettes inférieures à -50%	14,8%	<	23,1%
PN qui jugent la durée de sommeil insuffisante	69%	<	86%
PN somnolent à extrêmement somnolent au coucher avant le service	38,9%	<	56,5%
PN somnolent à extrêmement somnolent au lever avant le service	33,9% (pas de récupération par rapport au coucher)	<	51,3% (pas de récupération par rapport au coucher)
Niveau moyen de fatigue au coucher	57,8 Récupération pas significative	<	71 Récupération faible.
Fatigue pendant les services	Augmentation significative pour les services avec 3 ou 4 vols	-	Niveaux élevés de fatigue pour tous les vols du service
Avancée de l'heure de prise de petits déjeuner et augmentation des sandwiches et collations en défaveur des repas			
PNT, vols matins successifs	Augmentation de la fatigue le 1 ^{er} matin, Augmentation du niveau de contrainte, de la fatigue et de la somnolence au cours du 2 ^{ème} matin	-	Niveau de contrainte élevé en fin de service (vol 2 et 3) mais moins élevé que le dernier vol du 2 ^{ème} matin successif
PNC, niveau de contraintes, de fatigue et de somnolence	Niveaux pour les matins et matins successifs	<	Niveaux pour la rotation 5/3

Tableau 62
Synthèse des principaux résultats –
Comparaison des services du matin (Matins) et des services du matin après un repos réduit (RR).

		Rotation 3/3		Rotation 5/3
	Durée des vols	1 h 27 min ± 19 min	>	1 h 06 min ± 14 min
PNT	Somnolence, fatigue sensorielle et fatigue physique	Unités arbitraires	>	Unités arbitraires
PNC	Somnolence, fatigue sensorielle et manifestations de la fatigue	Unités arbitraires	<<	Unités arbitraires
PNT	Charge de travail	Unités arbitraires	>	Unités arbitraires
PNC	Charge de travail	Unités arbitraires	<<	Unités arbitraires
PNT	Niveau de contrainte élevé au « Night Stop »	10,7%	<	27,6%
PNC	Niveau de contrainte élevé au « Night Stop »	9,7%	<<	44,4%
PNT	Niveau de contrainte élevé pendant les vols en début de service (surtout à la préparation du vol)	56%	<	71%
PNC	Niveau de contrainte élevé pendant les vols	-	-	Vol 4 et vol 5* en jour 1 Vol 3 en J2
PNT	Corrélation significative du niveau de contrainte avec :	La fatigue	-	La fatigue et la somnolence
PNC	Corrélation significative du niveau de contrainte avec :	La somnolence et un peu la fatigue	-	La somnolence et très fortement avec la fatigue
PNT	Signes physiologiques, psychologiques et dégradation de l'humeur	-		Significatif pour les vols 4 et 5*
PNT	Nombre d'écarts observés par heure de vol	-		Significatif pour le vol 5*

* A noter que ces vols sont antérieurs au repos réduit. Le repos réduit ne peut donc avoir d'impact en tant que tel sur cet item pour les vols concernés

Tableau 63
Synthèse des principaux résultats – Comparaison des rotations 3/3 et 5/3.

	Rotation 3/1 non fractionnée		Rotation 3/1 fractionnée
Pratique de la sieste (agendas)	48,1%	<	88,5%
PNT, augmentation en jour 1 de la fatigue physique, de la fatigue mentale et dégradation de l'humeur			
Baisse de la somnolence sur les rotations observées	néant	<	91% de sieste effectuée pendant la coupure diminue significativement la somnolence au cours des vols 2 et 3
Pas de différences observées sur les retours secs en jour 2			

Tableau 64
Synthèse des principaux résultats – Comparaison des rotations 3/1 et 3/1 fractionnées.

5.2.9 - Comparaison des données prédites par le modèle et des données observées -

Le modèle SWP (Sleep Wake Predictor) est décrit au chapitre 3.1.2.1.3. Il estime les variations de la somnolence au cours du temps. Le logiciel exprime le niveau de somnolence du sujet à l'aide de l'échelle KSS (Karolinska Sleepiness Scale). Les prédictions sont effectuées à partir des horaires de travail et, s'ils sont connus, des horaires de sommeil. Si ceux-ci ne sont pas connus, le logiciel les prédit.. Le sommeil simulé prend également en compte certaines des caractéristiques individuelles du dormeur (besoin du sommeil et typologie circadienne).

5.2.9.1 – Comparaison des sommeils prédits et des sommeils réels -

Une des premières hypothèses, est de vérifier la corrélation entre les sommeils relevés auprès des personnels navigants et les sommeils qui peuvent être prédits par le modèle SWP. L'analyse a été effectuée sur l'ensemble des sommeils relevés dans les agendas.

La figure n°101 présente le nuage de points qui établit la comparaison entre l'amplitude « réelle » de sommeil et l'amplitude « prédite ». L'amplitude réelle de sommeil correspondant à la différence entre l'heure de réveil et l'heure d'endormissement de la personne a été retenue car il s'agit des paramètres d'entrée utilisés par le modèle. Cette amplitude de sommeil ne tient donc pas compte des éveils persomniques qui peuvent encore diminuer la durée effective de sommeil de la personne.

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. Ce dernier ensemble présente une dispersion plus forte que le premier.

Globalement, la corrélation de 0,609 est significative à $p < 0,05$ (Rho Spearman = 0,5524 ; $p < 0,001$). Si on ne retient que les sommeils liés à un service (figure n°102), la corrélation toujours significative augmente et atteint 0,695 (Rho Spearman = 0,7145 ; $p < 0,001$). Le coefficient de détermination stipule qu'il existe 48,3% de variance commune entre les deux variables. En d'autres termes, la variance des valeurs fournies par les personnels explique 48,3% de la variance des valeurs prédites. La meilleure corrélation pour les sommeils survenant au cours des services s'explique par le fait que lors des journées de repos, le sommeil n'est pas contraint par des périodes de service laissant davantage la possibilité aux différences individuelles de s'exprimer.

Au cours de l'étude sur les vols Ultra Long Courriers menée pour Singapore Airlines et la CAA de Singapour (Spencer et al, 2002), le coefficient de corrélation entre les sommeils prédits et les sommeils observés était moins élevé et atteignait 0,52.

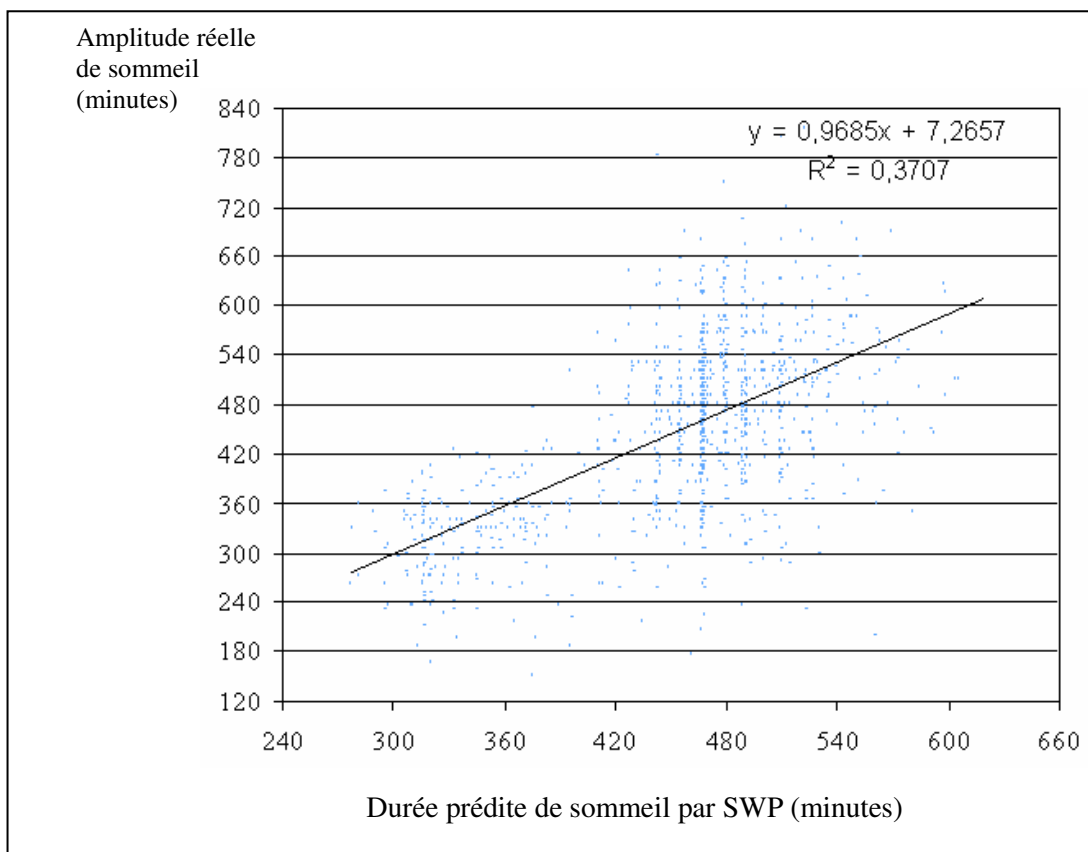


Figure n°101
Relation entre l'amplitude réelle de sommeil et le sommeil prédit –
Ensemble des sommeils – N = 138 personnels navigants

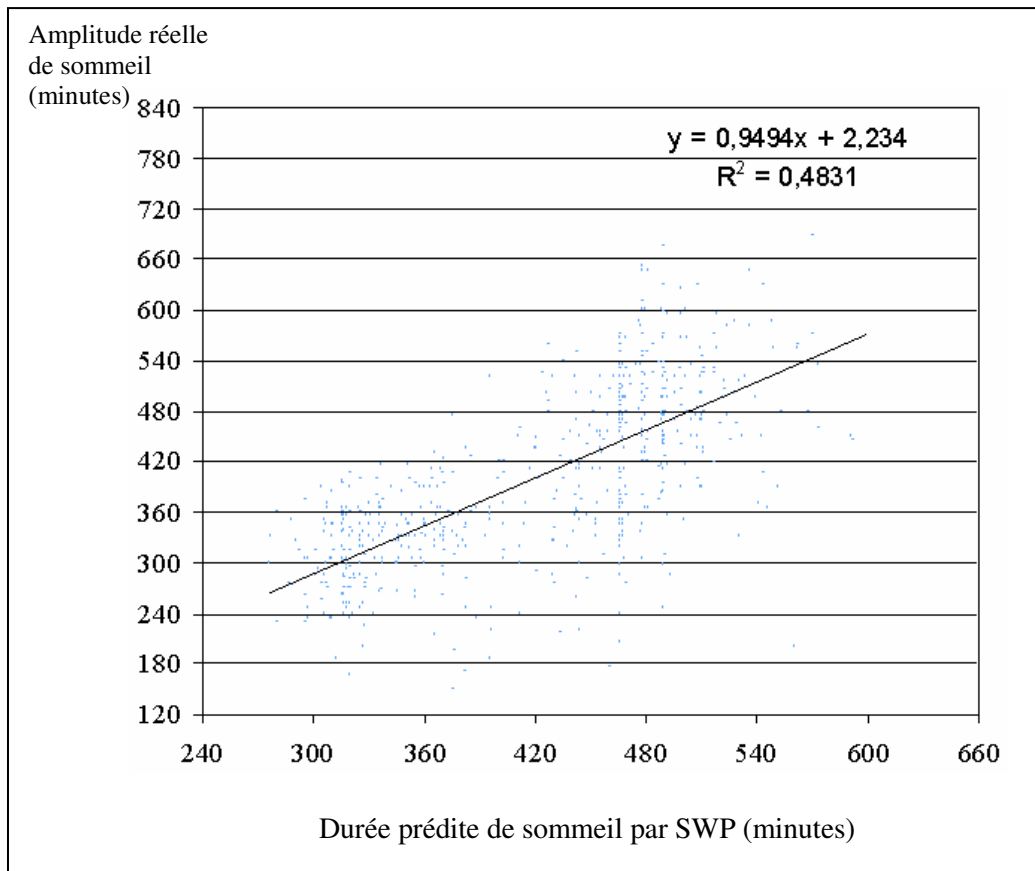


Figure n°102
Relation entre l’amplitude réelle de sommeil et le sommeil prédit –
Sommeils précédant un service – N = 138 personnels navigants

L’observation du nuage de points révèle toutefois une dispersion importante des valeurs, dues notamment à la variabilité interindividuelle, avec une tendance à la surestimation des durées de sommeil par le modèle.

Les résultats présentés dans le tableau 65 sont issus de l’analyse plus détaillée des heures d’endormissements, des heures de réveil et de la diminution de l’amplitude de sommeil par rapport aux prédictions du modèle. Cette analyse révèle que :

- Pour les sommeils pendant les jours de repos : le pourcentage de personnels qui retardent leur endormissement et leur réveil est très élevé, soit 60% pour un décalage d’une heure et près de 30% pour un décalage de deux heures. Près d’un

- tiers des sommeils sont réduits d'au moins 30 minutes par rapport aux prédictions,
- Concernant les sommeils qui précèdent les services, 34% des couchers sont retardés d'au moins 1 heure réduisant considérablement la durée de sommeil. 25% des sommeils sont réduits d'une heure,
 - 47% des heures de réveil des sommeils positionnés avant les services d'après-midi sont avancés d'au moins une heure par rapport aux prédictions du modèle. Ce décalage est probablement induit par des contraintes sociales ou familiales mais aussi par les trajets de durées importantes des personnels faux basés qui doivent rejoindre leur base,
 - Concernant les sommeils avant un service du matin, 39% des heures d'endormissements sont retardées de 30 minutes, 20% d'une heure et 4% de deux heures par rapport aux horaires prédits par le modèle. Les horaires de lever sont conformes aux prédictions. La conséquence se traduit par une diminution importante de l'amplitude de sommeil. 44% des sommeils sont réduits de 30 minutes, 26% d'une heure et 7% de deux heures.

Type de jours	Retard des heures d'endormissement et de réveil par rapport aux prédictions du modèle*			Diminution de l'amplitude de la plage de sommeil		
	30 minutes	1 heure	2 heures	30 minutes	1 heure	2 heures
Jours de repos	74%-75%	59%-61%	29%-34%	31%	20%	8%
Jours de service	52%-33%	34%-24%	11%-10%	39%	25%	8%
Service d'après-midi	66%-65%	34%-47%	16%17%	14%	5%	3%
Service du matin	39%-3%	20%-0%	4%-0%	44%	26%	7%

* : A%-B% = % de sommeils avec décalage des heures d'endormissement - % de sommeils avec décalage des heures de réveil.

Tableau 65
Pourcentage de PN avec des sommeils décalés et des sommeils réduits par rapports aux prédictions du modèle – N = 138 personnels navigants.

Globalement, les personnes se couchent plus tardivement par rapport aux prédictions du modèle. Les contraintes sociales et les contraintes liées au travail décalé semblent donc avoir un impact sur la surestimation du modèle .

5.2.9.2 - Comparaison de la somnolence prédite avec la

somnolence observée -

La somnolence a été évaluée à l'aide de l'échelle KSS (Karolinska Sleepiness Scale). Il a été demandé aux PN d'indiquer leur niveau de somnolence au lever et au coucher sur l'ensemble des journées de l'agenda, ainsi qu'à la fin de chaque étape des rotations observées.

5.2.9.2.1 - Somnolence au coucher et au lever -

L'analyse de la somnolence au lever et au coucher a été effectuée en comparant les valeurs moyennes calculées par type de service. Le tableau 66 présente les résultats statistiques. Le modèle sous-estime significativement les niveaux de somnolence **au lever** avant des services d'après-midi, de journée, du Matin et du Matin après un repos réduit.

Il convient de noter que les PN sont très souvent en « découcher », notamment lors de repos réduit. La durée du sommeil est jugée significativement insuffisante ($\chi^2 = 71,652$; ddl = 1 ; $p < 0,001$) par les PN lorsqu'ils dorment à l'hôtel et non au domicile. Il en résulte des niveaux de somnolence au lever supérieurs aux estimations du modèle prédictif. Pour les jours avec un service, les PN indiquent des niveaux de somnolence significativement plus élevés de 0,5 unité de KSS lorsqu'ils dorment au domicile ($F = 31,51$; $p < 0,001$) contre 0,9 unité de KSS lorsqu'ils dorment à l'hôtel ($F = 92,85$; $p < 0,001$).

	Type de Service	Somnolence moyenne		ANOVA mesures répétées	
		Observée	Prédite (SWP)	F	Probabilité
Au lever	Après-midi	4,38 ± 1,71	3,90 ± 0,55	25,21	< 0,001
	Journée	5,05 ± 1,81	4,23 ± 0,46	11,76	0,0011
	Matin	5,40 ± 1,93	4,85 ± 0,61	11,52	< 0,001
	Matin après repos réduit	6,12 ± 1,87	5,03 ± 0,53	80,17	< 0,001
	Soirée	4,25 ± 1,83	3,81 ± 0,50	3,29	NS
Au coucher	Après-midi	6,34 ± 1,68	6,25 ± 0,66	0,58	NS
	Journée	6,30 ± 1,46	6,36 ± 0,69	0,08	NS
	Matin	6,28 ± 1,91	6,36 ± 0,83	0,15	NS
	Matin après repos réduit	6,81 ± 1,80	6,44 ± 0,84	6,74	0,0101
	Soirée	5,60 ± 1,99	6,32 ± 0,79	6,15	0,0164

NS : différence non significative au seuil de 5%

Tableau 66
Comparaison du niveau de somnolence observé et du niveau prédit –
Somnolence au lever et au coucher.

Au coucher, les niveaux de somnolence déclarés sont statistiquement très proches des niveaux prédits pour les sommeils qui précèdent les services d'après-midi, de journée ou du matin. Le modèle estime des niveaux de somnolence significativement plus faibles après le service d'après-midi avant le repos réduit alors qu'il surestime les niveaux au coucher après un service de soirée.

5.2.9.2.2 - Somnolence pendant les services -

Au cours des observations en vol, le niveau de somnolence a été évalué pour chaque PN à la fin de chaque étape. L'analyse a porté sur les rotations 3/3 et 5/3. Les figures n°103 et n° 104 présentent la comparaison entre les niveaux de somnolence recueillis et ceux prédits par le modèle SWP. Les résultats au test statistique sont présentés en Annexe Q.

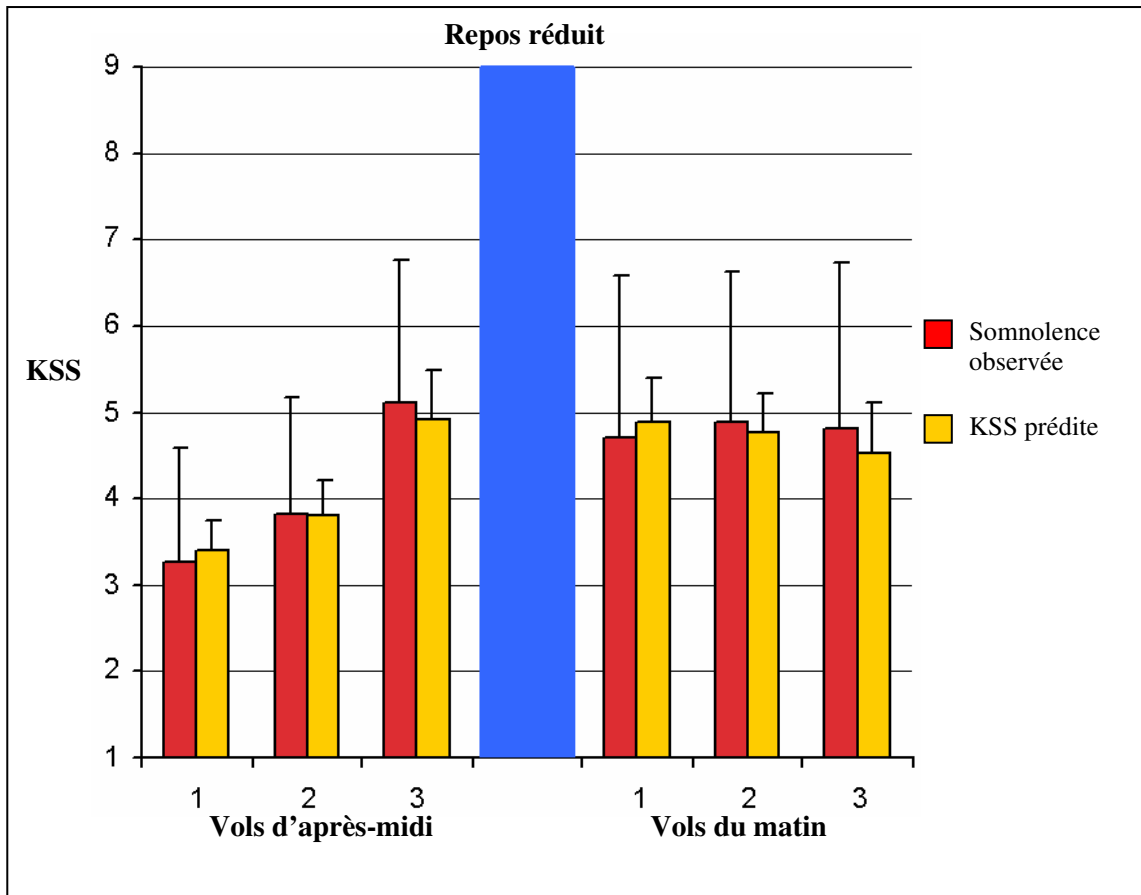


Figure n°103
Comparaison des niveaux de somnolence relevés et prédits –
Rotation 3/3 – N = 57 personnels navigants

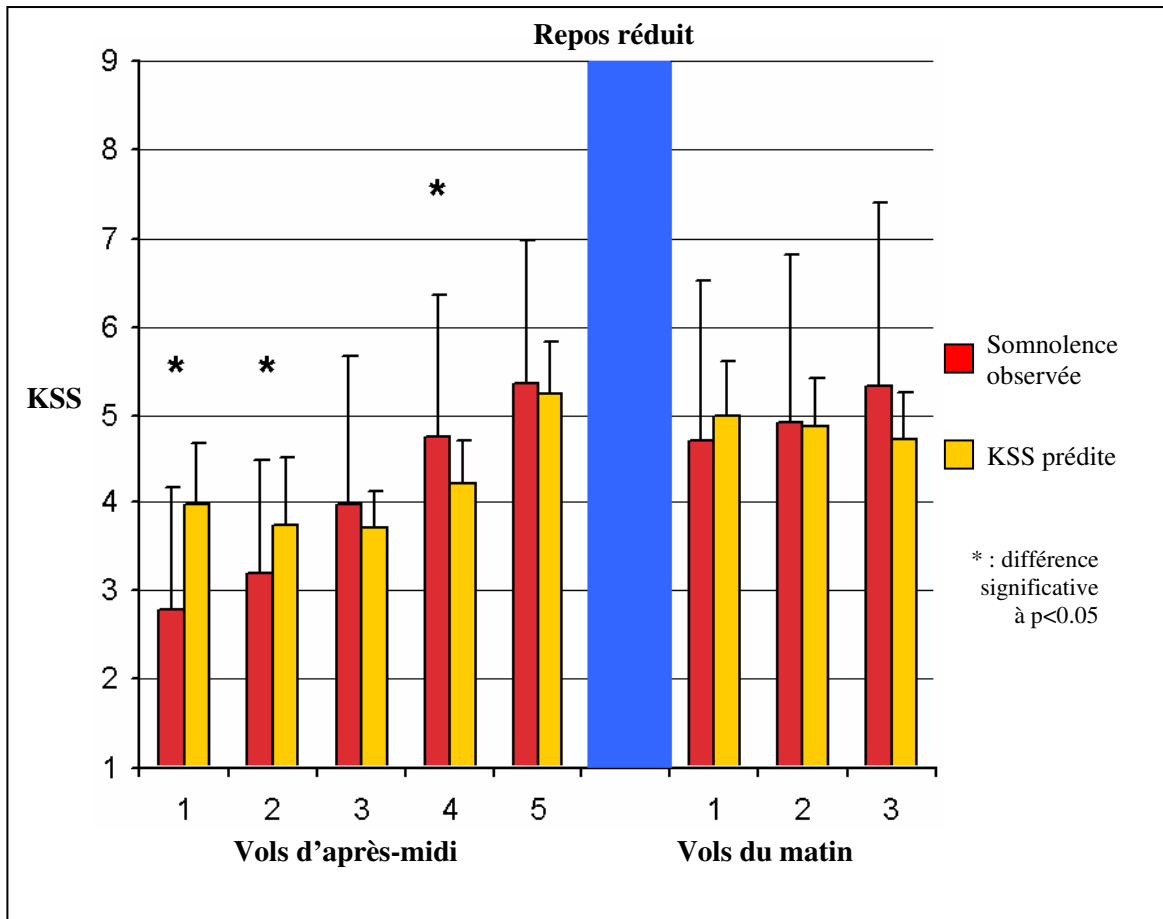


Figure n°104
Comparaison des niveaux de somnolence relevés et prédits –
Rotation 5/3 – N = 45 personnels navigants

Aucune différence significative n'est mise en évidence entre les valeurs prédites et les valeurs observées au cours de la **rotation 3/3**. 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. Elle traduit la possibilité d'obtenir des valeurs de KSS supérieures à 7.

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

A l'inverse, au cours du quatrième vol, le niveau moyen de somnolence indiqué par les PN s'avère significativement plus élevée 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, qui n'est pas retrouvée après le vol 5, en fin de service, probablement à cause 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

La figure n°105 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°103 et 104). 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.

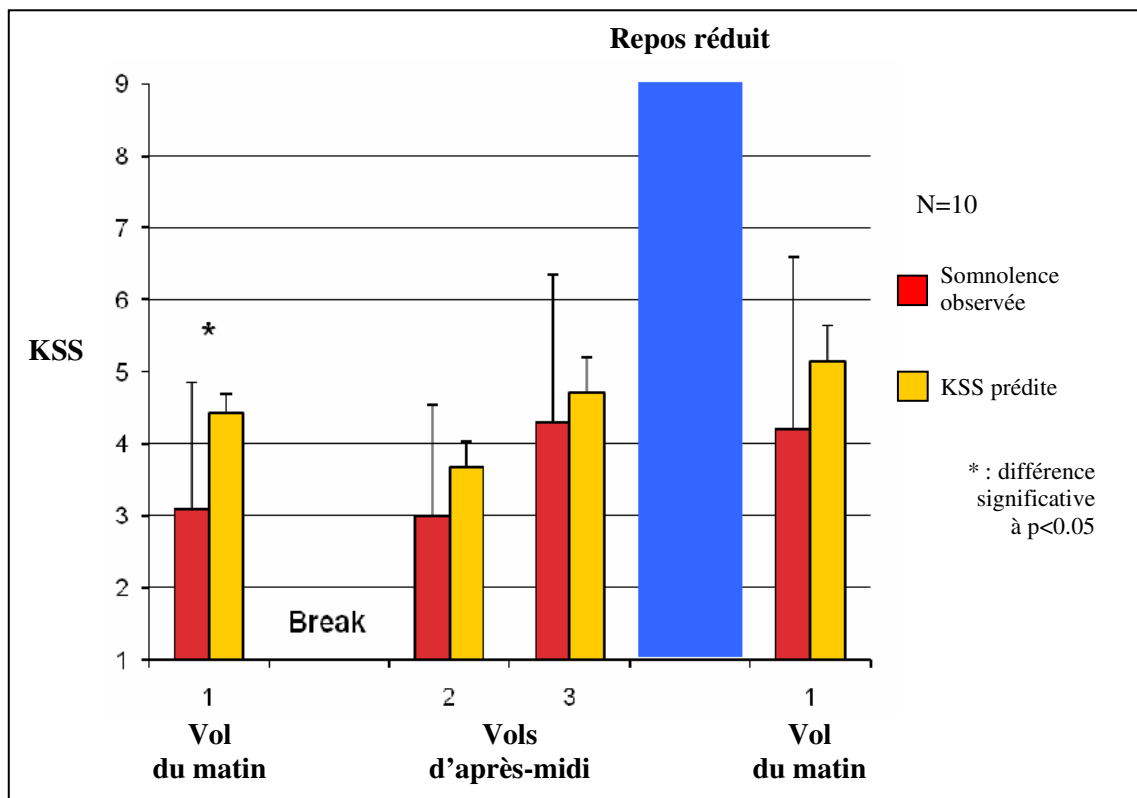


Figure n°105
Comparaison des niveaux de somnolence relevés et prédits –
Rotations service fractionné/repos réduit – N = 10 personnels navigants

Les résultats précédents permettent une représentation en nuage de points pour chaque valeur moyenne obtenue pour chaque vol des rotations 3/3 et 5/3, entre la somnolence observée et la somnolence prédite (figure n°106). Le coefficient de détermination de 0.73 indique une estimation de la somnolence en valeur moyenne (coefficient de corrélation = 0.85) légèrement meilleure que celle des amplitudes de sommeil.

Concernant les valeurs individuelles, les grands écarts types obtenus pour la somnolence observée auprès des PN, reflètent la très grande disparité des réponses par rapport aux valeurs prédites par le modèle SWP et réduisent ainsi le coefficient de détermination à une valeur de 0.10 (coefficient de corrélation = 0.31).

Deux raisons peuvent expliquer cette différence :

- le modèle fournit une valeur théorique de somnolence pour un groupe d'individus,
- la diversité individuelle et des situations de travail impliquent que les valeurs de somnolence observées peuvent être bien plus élevées ou bien plus faibles que la valeur prédite.

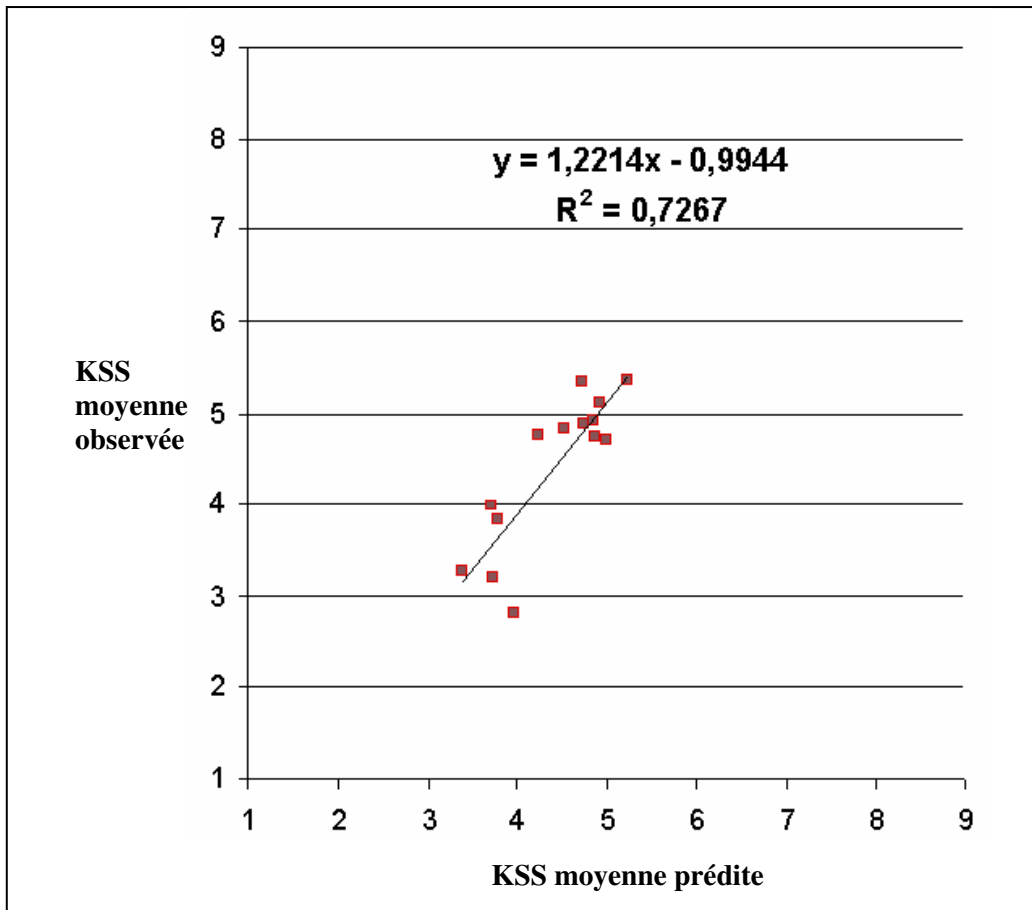


Figure n°106
KSS observée versus KSS prédite par le modèle SWP –
Valeurs moyennes pour les rotations 3/3 et 5/3

6 – SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

Le projet STARE, conduit par un consortium d'experts dans le domaine des Facteurs Humains et de la sécurité aérienne en coopération avec trois compagnies françaises, visait à mettre en place d'un observatoire de la sécurité du transport aérien régional français vis-à-vis du risque de fatigue et à étudier le développement des bases scientifiques d'un SGS-RF s'appliquant dans le cas des repos réduits et des services fractionnés, le tout dans le contexte réglementaire de l'EU-OPS.

. Ce projet s'est appuyé sur un ensemble de méthodes et d'outils validés permettant d'évaluer et de suivre sous différents angles l'impact des repos réduits et des services fractionnés sur la fatigue des équipages et la sécurité des vols :

Dans la perspective d'un SGS-RF, l'ensemble de ces méthodologies sont destinées à alimenter 2 observatoires distincts :

- un observatoire systématique, permanent, s'appuyant essentiellement sur une analyse chronobiologique des plannings des PN, des données de sécurité des vols (ASR et ASV)
- un observatoire ciblé, destiné à être déclenché dans certaines conditions. Cet observatoire comporte une enquête par questionnaires et un recueil de données et d'observations en vol.

Dans le cadre de l'observatoire systématique, l'analyse des plannings des équipages a permis de montrer qu'en dehors des contraintes opérationnelles et commerciales, le processus de conception des plannings des équipages est influencé par divers éléments liés à la vie sociale des équipages. L'utilisation d'un modèle prédictif prenant en compte la composante cumulative de la fatigue montre que, sur un sous-échantillon de plannings considérés critiques vis-à-vis du risque fatigue, 6% des services du matin suivant un repos réduit présentent une probabilité supérieure à 30% de générer un niveau de fatigue dit « critique ». Il montre en outre que le risque fatigue associé aux repos réduits est très variable. Cela résulte notamment de 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 d'intégrer les services et repos précédents. Les modèles prédictifs actuels se révèlent des outils potentiellement

utilisables par les compagnies pour l'évaluation et la comparaison de séquences de plannings types.

Concernant les ASR, on note que leur fréquence (rapportée à 1000h de vol) est significativement impactée par l'heure de la journée. En outre, des corrélations ont été établies entre le niveau de risque fatigue et les occurrences de remontées d'ASR. Les données quantitatives d'ASR 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 qu'il n'existe pas une relation linéaire entre la durée du service et le taux d'ASR : après un repos réduit, celui-ci augmente significativement après 3h de service mais tend à diminuer après 5 h de service. Ceci suggère que les ASR sont sensibles aux types de rotations et traduit par ailleurs des stratégies de protection des équipages.

Cet indicateur est donc potentiellement pertinent dans le cadre d'un SGS-RF. Il nécessite néanmoins des méthodes d'analyse statistique adaptées d'une part, un enrichissement du recueil des ASR par des informations plus qualitatives dans le futur d'autre part.

L'analyse des ASV n'a pu être réalisée que pour une seule compagnie. Néanmoins, cette analyse qui porte sur un nombre très élevé d'événements révèle des résultats significatifs. Les équipages dont le risque fatigue évalué est élevé tendent à produire un nombre significativement moindre d'événements ASV toutes sévérités confondues et plus important d'événements ASV de sévérité élevée que les équipages dont le risque fatigue est faible.. Ceci suggère qu'en cas de fatigue, les équipages mettent en place des moyens pour réduire les « écarts » ce qui se traduit par moins d'événements détectés par l'ASV. Par contre lorsque ces « écarts » surviennent, leur sévérité tend à augmenter.

La deuxième partie du projet a concerné la mise en place d'un observatoire « ciblé » visant à évaluer plus directement l'impact de la fatigue sur des échantillons de PN volontaires. Cet observatoire ciblé comporte une enquête par questionnaire et une phase de recueil de données et d'observations en vol.

L'enquête par questionnaires diffusée sur un site internet a permis de recueillir des réponses de 282 PNT et 186 PNC sur leur perception des causes et conséquences de la fatigue. Cette enquête a notamment permis de faire ressortir les résultats suivants :

- une perception ambivalente des horaires de travail qui sont vécus à la fois comme un avantage et un inconvénient du métier. Ceci confirme toute la complexité de la problématique des horaires de travail qui se trouve à l'intersection des exigences sociales, de sécurité et de productivité,
- la sensation que les services les plus fatigants 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. Plus généralement, tout service, quel que soit le niveau de fatigue induit, est ressenti comme nécessitant au moins un jour complet de récupération.
- la conscience que les repos réduits engendrent une dette de sommeil plus élevée que les services du matin ce qui est corroboré par les résultats des observations en vol
- le sentiment que les facteurs liés au contexte du travail contribuent significativement à la fatigue globale,
- globalement on note une perception de fatigue plus élevée pour les PNC que pour les PNT. Ces résultats peuvent s'expliquer par un effet du genre. En effet, des travaux récents montrent une plus forte prévalence des symptômes de fatigue et de troubles du sommeil pour les femmes que pour les hommes (Akerstedt et coll., 2002).

Par ailleurs les résultats permettent de mieux appréhender la perception que les PN ont des risques liés à la fatigue et les stratégies les plus utilisées. L'intérêt de ce type de données dans le cadre d'un SGS-RF porte à la fois sur leur utilisation comme indicateur du vécu de la population PN des horaires et des conditions de travail et pour la définition de programmes de sensibilisation ou de formation sur les questions liées à la fatigue.

Enfin le recueil de données sur le terrain et les observations ont permis de mettre en évidence :

- Une dette de sommeil importante au cours des repos réduits atteignant 40% de la durée habituelle de sommeil. On constate que 92% de l'échantillon présentent des durées de sommeil inférieures à 6 heures au cours des repos réduits contre 77% pour les services du matin. Globalement la dette est de 5% supérieure à celle associée aux services du matin. Elle est en moyenne plus élevée pour les PNC que pour les PNT. Une majorité des PN considèrent que leur

durée du sommeil est insuffisante au cours des repos réduits. Par contre, 73% considèrent que la qualité de leur sommeil est satisfaisante, voire tout à fait satisfaisante au cours de ces repos réduit contre 27 % qui considèrent qu'elle est dégradée.

- Contrairement à une idée assez répandue, la dette de sommeil n'est pas significativement plus élevée pour les faux-basés que pour les équipages vivant dans la même zone géographique que leur base. Ceci peut sans doute s'expliquer par le fait que les faux basés adoptent des stratégies d'anticipation par exemple en effectuant leur trajet domicile- travail la veille de leur service.
- La pratique de la sieste après les services du matin tend à réduire significativement la dette de sommeil, confirmant les résultats de l'enquête par questionnaire
- Les niveaux de somnolence des équipages après les repos réduits sont élevés dès la première étape atteignant un niveau équivalent à celui observé au cours d'une 5ème étape d'après-midi. Ils se maintiennent à des niveaux semblables au cours des deux étapes suivantes, inférieurs, en moyenne, au niveau 7 de l'échelle KSS.
- 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. Ce constat porte cependant sur de petits échantillons
- Globalement les rotations 5/3 avec repos réduits sont moins bien vécues par les PNC
- La perception des contraintes opérationnelles tend à augmenter avec le nombre d'étapes.
- Les observations comportementales indiquent que la fatigue se manifeste par des signes apparents de la fatigue ainsi qu'une augmentation d'écarts observables,
- Les écarts tendent à augmenter significativement au cours de la 5ème étape d'après-midi (sans lien direct avec le repos réduit qui suit) mais pas au cours des vols du matin après repos réduits,
- La comparaison des durées de sommeil et de la somnolence prédites par un modèle chronobiologique (SWP) avec les données réelles indique des corrélations significatives uniquement pour les valeurs moyennes et l'on constate une forte variabilité interindividuelle, certains individus présentant des durées de sommeil ou des niveaux de somnolence très éloignées des prédictions,

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.

A partir de l'ensemble des résultats obtenus il est possible de formuler des recommandations en termes de mise en œuvre d'un SGS-RF. Les grandes lignes de ces recommandations en lien avec les résultats de l'étude sont données ci-dessous. Elles ont été intégrées dans un document à visée plus opérationnel (Guide de mise en œuvre du SGS-RF) destiné à décrire plus précisément les différentes étapes du SGS-RF.

1 – Gérer le risque fatigue par l'utilisation de modèles prédictifs à différents niveaux de la gestion des horaires de service, de la conception des rotations jusqu'à l'évaluation des plannings. La figure n° 107 présente deux utilisations possible des modèles prédictifs dans le cycle de planification des équipages. Le premier niveau concerne essentiellement la conception des rotations qui permet de gérer le risque fatigue à l'échelle de la rotation. Compte tenu des effets cumulatifs très importants qui ont été observés dans l'étude, le niveau de gestion de la planification doit également être considéré en particulier. Ceci peut être réalisé en évaluant et comparant différentes séquences types de plannings pour faciliter les prises de décision des agents de plannings.

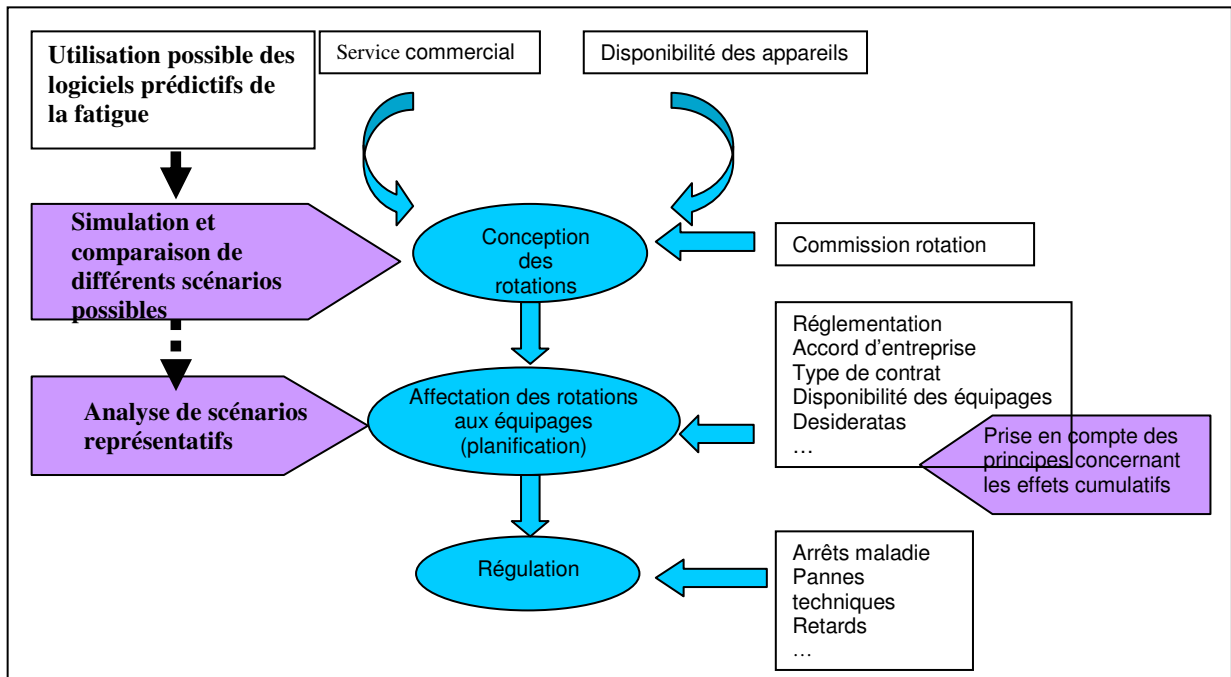


Figure n°107. Utilisations possibles des modèles prédictifs

L'intérêt de ces modèles réside plutôt dans la comparaison de différentes solutions que dans une évaluation « absolue ». Ces modèles présentent par ailleurs des limites qu'il est essentiel de prendre en compte :

- La plupart de ces modèles ne prennent pas en compte les différences individuelles. Lorsque le modèle prend en compte les différences individuelles, il est recommandé de réaliser les simulations avec les profils les plus « défavorables » du point de vue de la fatigue (par exemple d'entrer un profil « du soir » pour évaluer l'impact d'un service du matin).
- Ces modèles ne prennent pas en compte l'impact de la nature de la tâche (charge de travail notamment) sur la fatigue. Il est donc essentiel d'intégrer d'autres dimensions liées à la tâche et à l'environnement dans l'évaluation du risque fatigue.

2 – Evaluer l'impact du risque fatigue sur les ASR . Les résultats du projet STARE suggèrent qu'il est nécessaire d'enrichir la forme actuelle des ASR par un recueil d'information relatif à la fatigue de l'équipage, aux horaires de service et au contexte de l'événement. Ces informations pourraient être recueillies à partir d'un formulaire spécifique annexé à l'ASR, Le traitement des données provenant des ASR nécessite de corriger les données en fonction du trafic et d'effectuer des tests statistiques appropriés

A titre d'exemple, 3 solutions sont proposées en fonction de la précision recherchée et des possibilités de traitement des données (cf. appendice)

Bien entendu, le choix de l'une des solutions présentées en appendice dépend de la taille et des ressources de la compagnie et de la quantité d'ASR générés par an.

3 Intégrer les ASV dans le SGS-RF :

- Les données issues du système ASV de la compagnie devraient contribuer à alimenter un observatoire systématique car certains évènements sont effectivement sensibles au risque fatigue et peuvent servir de base à la mise en place d'indicateurs objectifs.
- La mise en place des indicateurs ASV pour un SGS-RF devrait s'appuyer sur une mise en correspondance des données ASV avec les données issues de l'analyse des plannings par un outil prédictif du niveau de fatigue.
- La définition des indicateurs issues de l'ASV doit être réalisée de manière méthodique, notamment en étudiant la sensibilité de l'évènement ASV au niveau de fatigue en fonction de la sévérité de l'évènement.
- La pertinence des indicateurs pourrait être améliorée par la définition d'indicateurs spécifiques ajoutés aux indicateurs actuels de la compagnie aérienne. Ces nouveaux indicateurs devraient utiliser des éléments de comportement particulièrement influencés par le niveau de fatigue : temps de réaction, oublis, confusion... Une étude spécifique par indicateur devra être conduite.

4 Développer un observatoire ciblé :

Les résultats du projet STARE ont montré la faisabilité et l'intérêt de développer des indicateurs et un suivi de la fatigue des équipages. Ces indicateurs, utilisés d'ores et déjà par d'autres compagnies (easyJet, Air New Zealand par exemple) sont destinés à être déclenchés à certaines périodes, soit de manière périodique, soit à l'occasion d'un changement dans l'exploitation. Deux types d'indicateurs peuvent être retenus à l'issue de cette étude :

- Une enquête par questionnaire destinée à appréhender la perception des PN de leurs conditions de travail et en particulier des horaires

de travail. Ceci est essentiel car l'acceptabilité sociale des horaires par les PN est déterminante dans la gestion du risque fatigue,

- Un recueil et des observations en vol afin d'évaluer plus précisément l'impact des horaires sur le sommeil au cours des repos et la fatigue en vol. A partir de ces résultats il est notamment possible de comparer des rotations avec et sans repos réduits sur le plan de la fatigue et la récupération.

Différentes possibilités de déclenchement des observatoires systématique et ciblé sont proposées et illustrées dans le guide de recommandation.

Bibliographie :

Akerstedt, T. Fredlund, P. Gillberg, M. and Jansson, B. (2002). Workload and work hours in relation to disturbed sleep and fatigue in a large representative sample, *J Psychosomatic Research* 53, pp. 585-588.

Bourgeois-Bougrine, S., Cabon, P., Gounelle, C., Mollard, R., & Coblenz, A. (2003). Perceived Fatigue for Short- and Long-Haul Flights: A Survey of 739 Airline Pilots. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 74, 10, 1072-1077.

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.

Civil Aviation Authority of New Zealand (2000) Advisory Circular AC 119-2 Air Operations: Fatigue of Flight Crew. Civil Aviation Authority of New Zealand , Wellington

Civil Aviation Authority of New Zealand (2007a). Part 121 Air Operations: Large aeroplanes. Wellington: Civil Aviation Authority of New Zealand, 117 p.

Civil Aviation Authority of New Zealand (2007b). Part 125 Air Operations: Medium aeroplanes. Wellington: Civil Aviation Authority of New Zealand.

Civil Aviation Authority of New Zealand (2007c). Part 135 Air Operations: Helicopters and Small Aeroplanes. Wellington: Civil Aviation Authority of New Zealand, 142 p.

Dawson, D., McCullough, K. Managing Fatigue as an Integral part of a Fatigue Risk Management System. ISASI, 2004.

DGAC DC8 : Acte d'engagement, Consultation 2007DAST01 Document ONERA DCSD-2007_010-BDC-001-1.0, Juillet 2007

Dumas, Marc (2005). De la gestion de l'absentéisme à la gestion de la santé dans une entreprise de cosmétiques, In E. Abord de Chatillon et O. Bachelard, eds, *Management de la santé et de la sécurité au travail. Un champ de recherche à défricher*. L'Harmattan éditeur.

Folkard S, Lombardi DA (2004) Towards a "Risk Index" to assess work schedules. *Chronobiol Int* 21:1063–1072

Folkard S, Lombardi DA (2006) Modelling the impact of the components of long work hours on injuries and "accidents". *Amer J Indust Med* 49:953–963 "accidents".

Folkard, S., & Akerstedt, T. (2004). Trends in the risk of accidents and injuries and their implications for models of fatigue and performance. *Aviation, Space and Environmental Medicine*; 75(3, Suppl.):A161–7.

Fondation Européenne pour l'Amélioration des Conditions de Vie et de Travail. La prévention de l'absentéisme sur le lieu de travail – Résumé. Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes, 1997. ISBN 92-828-0340-6.

LAA, SynRjy, AFC, ONERA Mise en oeuvre d'un observatoire sur la sécurité du transport aérien régional français vis à vis du risque fatigue et développement d'une méthodologie pour un système de gestion du risque fatigue au sein d'une compagnie aérienne Document ONERA DCSD-2007_010-PTF-002-2.0, Réponse à la consultation n°2007DAST01, Juin 2007

Lavie, P. (1986). "Ultrashort sleep-waking schedule. III. Gates' and Forbidden zones' for sleep." *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 63(5): 414-425.

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

OHAYON M.M., CARSKADON M.A., GUILLEMINAULT C., VITIELLO M.V. (2004). Meta-analysis of quantitative sleep parameters from childhood to old age in healthy individuals: developing normative sleep values across the human lifespan. *Sleep*. 27: 1255-1273.

P. Le Blaye, L. Chaudron, N. Maille, P. Bonnet, C. Valot, S. Quiblier, S. Urban, J.-Y. Jollans et J.-Y. Grau Analyse systématique des vols (ASV) : Démarche, Outils, Principes de sécurité aérienne. Document ONERA RF 1/13207 DCSD – Janvier 2008.

Rosekind, M. (2008) The Role of Fatigue Factors in Aviation Operational Events: Analysis of Ryanair Flight Data and Crew Schedules. Alertness Solutions, Final Report, January 2008.

Spencer MB, Robertson KA (2002) Aircrew alertness during short-haul operations, including the impact of early starts. QinetiQ Report Number QINETIQ/CHS/PPD/CR010406/1.0

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

Stewart, S. 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, 2006, Paris, France.

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.

Van Dongen HP, Maislin G, Mullington JM, Dinges DF. The cumulative cost of additional wakefulness: dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep*. 2003 Mar 15;26(2):117-26.

WALSLEBEN J.A., KAPUR V.K., NEW- MAN A.B., SHAHAR E., BOOTZIN R.R., ROSENBERG C.E., O'CONNOR M.D., NIETO F.J. (2004). Sleep and reported daytime sleepiness in normal subjects: the Sleep Heart Health Study. *Sleep* 27(2): 293-298.

APPENDICE

Relative à l'évaluation de l'impact du risque fatigue sur l'ASR

- Solution 1 : évaluation systématique de la fatigue

Le formulaire ASR, propre à chaque Compagnie, est annexé de deux fiches (l'une pour le CDB, l'autre pour l'OPL) liées à l'évaluation de la contribution de la Fatigue du CDB et de l'OPL (similaire à l'AIRPROX ou à la Turbulence de sillage pratiquée actuellement d'une manière systématique par les compagnies).

Les équipages remplissent systématiquement les 2 fiches quelle que soit leur évaluation de la contribution de la fatigue à l'ASR. Seule la partie ASR est envoyée à la DGAC. La compagnie conserve l'ASR et la fiche fatigue pour être exploitée dans le cadre du SGS-RF. Avec cette solution, on dispose de données très précises sur la contribution de la fatigue ce qui permet d'enrichir au fur et à mesure la cartographie des facteurs et la matrice de risque. Cette solution requiert des ressources en termes de saisie et d'exploitation des données.

- Solution 2 : évaluation de la fatigue à l'appréciation du CDB

Une question «Contribution de la Fatigue à l'événement» est ajoutée au formulaire ASR existant. Une réponse positive à cette question active le remplissage de deux fiches associées au formulaire (CDB et OPL). Seule la partie ASR est envoyée à la DGAC. La compagnie conserve l'ASR et la fiche fatigue pour être exploitée dans le cadre du SGS-RF.

Cette solution permet d'enrichir les ASR par une information sur la fatigue des équipages mais présente des limites sur le plan statistique dans la mesure où ces fiches ne seront pas recueillies systématiquement.

- Solution 3 : évaluation « légère »

Le Formulaire ASR est uniquement enrichi avec une case OUI/NON sur la Fatigue. Dans le cadre du SGS-RF, la compagnie saisie cette information avec l'ASR. Cette solution présente l'avantage d'être peu coûteuse en termes de saisie et d'exploitation et permet de calculer des statistiques simples sur la fréquence des ASR avec et sans contribution de la fatigue. Elle présente l'inconvénient d'être peu riche en termes d'informations sur les facteurs ayant généré la fatigue.