

# **A N T H R O P O L O G I E   A P P L I Q U E E**

45, rue des Saints-Pères 75270 PARIS Cedex 06  
Téléphone : 01 42 86 20 37- 01 42 86 20 41 -Télécopie : 01 42 61 53 80

---

\* \* \* \*

## **ETUDE DE LA FATIGUE EN AERONAUTIQUE**

\* \* \* \*

**PHASE III :**

**SYNTHESE DES RESULTATS ET RECOMMANDATIONS**

**DOC AA 395/98**

**NOVEMBRE 1998**



*Ce document a été établi au titre de la convention DGAC/SFACT/LAA n° 95001.*

*Nous tenons à remercier MM. BARRAL et HELIOT de l'OCV pour leur aide efficace dans la conduite de cette étude, en favorisant notamment nos contacts auprès des Compagnies.*

*Par ailleurs, ces travaux n'auraient pu être menés sans la participation des équipages des Compagnies aériennes suivantes :*

- *AEROPOSTALE*
- *AIR FRANCE*
- *AIR LIBERTE*
- *AOM*
- *CORSAIR*
- *LA POSTALE*

*Nous exprimons tout particulièrement notre gratitude à M. SIRVEN, Directeur des Opérations Aériennes d'AOM ainsi qu'à MM. LAFOURCADE et LEMAITRE, Responsables du secteur MD-83 pour leur coopération très constructive à la phase III de cette étude.*

*\* \* \**

# S O M M A I R E

	<b>Pages</b>
<b>1 - RAPPEL DES OBJECTIFS ET SYNTHÈSE DES PHASES PRÉCÉDENTES</b> .....	1
<b>2 - ENQUÊTE AUPRES DES COMPAGNIES</b> .....	2
<b>2.1 - Objectifs</b> .....	2
<b>2.2 - Méthode adoptée</b> .....	3
<b>2.3 - Synthèse des résultats de l'enquête</b> .....	3
2.3.1 - Les causes de la fatigue.....	3
2.3.2 - Les stratégies de lutte contre la fatigue.....	5
2.3.3 - Les manifestations de la fatigue.....	6
2.3.3.1 - <i>Les manifestations de la fatigue chez soi-même et chez le coéquipier</i> .....	6
2.3.3.2 - <i>Les tâches de pilotage affectées par la fatigue</i> .....	7
<b>3 - EXPERIMENTATIONS EN LABORATOIRE</b> .....	8
<b>3.1 - Objectifs</b> .....	8
<b>3.2 - Méthode</b> .....	8
3.2.1 - Protocole et échantillon .....	8
3.2.2 - Tests utilisés et données recueillies.....	9
3.2.3 - Déroulement des expérimentations .....	10
3.2.4 - Résultats.....	10
<b>4 - EVALUATIONS DE LA FATIGUE ET OBSERVATIONS EN VOL</b> .....	12
<b>4.1 - Objectif</b> .....	12
<b>4.2 - Méthode</b> .....	13
4.2.1 - Données recueillies.....	13
4.2.2 - Vols effectués .....	13
<b>4.3 - Résultats</b> .....	16
4.3.1 - Synthèse des observations en vol.....	16
4.3.2 - Durée et qualité du sommeil.....	18
4.3.3 - Fatigue et somnolence en fin de vol .....	22
4.3.4 - Evaluation de la charge de travail en fin de vol.....	26

.../...

<b>5 - RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1 - Evolution de la réglementation .....</b>	<b>32</b>
<b>5.2 - Planification des rotations et organisation du travail.....</b>	<b>36</b>
<b>5.3 - Information et formation des équipages.....</b>	<b>37</b>
<b>6 - CONCLUSION - PERSPECTIVES .....</b>	<b>38</b>

\* \* \* \*

## **1 - RAPPEL DES OBJECTIFS ET SYNTHÈSE DES PHASES PRÉCÉDENTES -**

Les travaux réalisés au cours des trois phases d'étude, entre 1995 et 1998, ont pour objectifs la formalisation et la validation d'une méthode d'étude de la fatigue en aéronautique, puis l'application de cette méthode à des vols court-, moyens- et long-courriers en incluant les vols commerciaux et de transport de fret. La finalité de ces travaux vise à :

- prédire le niveau de fatigue des Personnels Navigants Techniques (PNT) dans différentes situations de vol,
- envisager une réflexion sur une évolution de la réglementation des durées de temps de service et de repos ainsi que dans l'organisation des rotations dont les enchaînements, trop souvent, sont définis de façon empirique,
- apporter des éléments pour la formation des équipages à une meilleure autodétection des prémices de la fatigue.

Au cours de la première phase (Septembre 1995 - Août 1996), les travaux ont été centrés sur les points suivants :

- réaliser une analyse bibliographique critique des travaux portant sur la fatigue dans le domaine aéronautique,
- proposer un modèle théorique de la fatigue en s'appuyant sur les acquis de cette analyse bibliographique,
- effectuer une exploitation complémentaire des données recueillies lors de campagnes relatives à la vigilance et au sommeil des pilotes d'avions long-courriers dans la perspective d'une évaluation de la fatigue liée aux rotations,
- élaborer un questionnaire sur la fatigue en aéronautique en vue de sa diffusion auprès des pilotes des différentes compagnies aériennes françaises,
- définir un programme d'expérimentations pour les phases suivantes en s'appuyant sur les acquis des étapes citées ci-dessus.

Des accompagnements sur plusieurs rotations jugées fatigantes ont également été réalisés afin de tester la méthode d'étude envisagée pour l'observation des activités et des comportements des équipages. Ils ont concerné, pour cette première phase, des vols multitransons sans décalage horaire correspondant à la rotation Paris-Tunis-Nairobi. Cette rotation comprend un vol aller en cargo et un vol retour en service commercial avec des passagers.

La synthèse des travaux réalisés pendant cette première phase a été effectuée dans le rapport d'étude AA 358/96.

Les travaux réalisés au cours de la deuxième phase (Septembre 1996 - Août 1997) s'articulent autour de trois axes complémentaires :

- diffusion et premières exploitations des questionnaires relatifs à la fatigue en aéronautique,
- analyse du comportement des équipages au cours de rotations fatigantes,
- mise en place d'expérimentations en laboratoire. Il s'agit d'étudier les relations existant entre des évaluations subjectives et des indicateurs objectifs de la fatigue recueillis auprès de sujets confrontés à des situations correspondant à des privations partielles de sommeil et une charge de travail élevée.

Les travaux de cette deuxième phase ont été rapportés dans le rapport d'étude AA 373/97.

La phase III (Septembre 1997 - Novembre 1998) a concerné les aspects suivants :

- un complément d'analyse et une synthèse sur l'enquête par questionnaires,
- l'application de la méthode d'analyse du comportement de l'équipage pour des vols court- et moyens-courriers,
- l'exploitation des résultats relatifs aux expérimentations de laboratoire,
- une synthèse globale des résultats et l'élaboration de recommandations pratiques.

## **2 - ENQUETE AUPRES DES COMPAGNIES -**

### **2.1 - Objectifs -**

Cette enquête est destinée à faire ressortir les éléments suivants :

- les principaux facteurs susceptibles de générer la fatigue en aéronautique,
- les catégories de rotations vécues comme les plus fatigantes selon la nature des vols : long-courriers, moyens-courriers ou court-courriers,...
- les manifestations de la fatigue en fonction des types de rotations étudiées,
- l'impact de ces manifestations sur la performance des équipages en vol,
- les stratégies les plus couramment adoptées pour lutter contre la fatigue.

## **2.2 - Méthode adoptée -**

L'enquête s'est déroulée au moyen de questionnaires comprenant une fiche d'informations générales et une série de 13 questions, dont 3 ouvertes et 10 fermées, relatives aux aspects précédemment cités.

Au total, sur les 3 535 questionnaires distribués auprès de 5 compagnies françaises, AIR FRANCE, AIR LIBERTE, AOM, CORSAIR et LA POSTALE, 739 ont été retournés au laboratoire, soit 21%.

L'échantillon des PNT ayant répondu se caractérise par les éléments suivants :

- 95% d'hommes et de 5% de femmes pour 98% d'hommes et 2% de femmes dans les compagnies, ce qui montre l'intérêt porté par les PNT féminins pour ces aspects,
- 46% de Commandants De Bord (CDB) et 54% de copilotes,
- 72% effectuent des vols long-courriers et 28% des vols court-courriers,
- 84,5% des réponses proviennent des PNT d'AIR FRANCE, les PNT d'AIR FRANCE représentant 89% de l'ensemble des PNT concernés, on retrouve dans les réponses au questionnaire une bonne répartition des PNT de chaque compagnie.

## **2.3 - Synthèse des résultats de l'enquête -**

### **2.3.1 - Les causes de la fatigue -**

Elles ont été abordées sous 3 aspects :

- l'origine de la fatigue pendant les phases de montée et de descente,
- la relation entre la fatigue et certains événements liés au déroulement du vol,
- les caractéristiques particulières des rotations fatigantes.

Au cours des phases de montée et de descente, la principale cause de fatigue, pour les PNT, se révèle être le manque de sommeil, suivie par la charge de travail importante liée à ces phases particulières de vol. L'impact sur la fatigue est estimé "élevé" à "très élevé" par :

- plus de 70% des PNT pour le manque de sommeil,
- par 49% des PNT pour ce qui concerne la charge de travail.

La hiérarchie entre ces deux facteurs se trouve respectée quelle que soit la fonction occupée, le type d'appareil sur lequel les PNT sont qualifiés (à l'exception du Concorde), le sexe, l'âge et la nature des vols effectués.



Toutefois, il a été observé un impact de la charge de travail sur la fatigue significativement plus élevé chez les PNT effectuant des court-courriers par rapport à ceux effectuant des long-courriers. Les résultats observés pour les court-courriers de LA POSTALE s'avèrent proches des long-courriers probablement parce qu'ils se déroulent en grande majorité la nuit et que ce sont des vols cargos qui imposent beaucoup moins de contraintes horaires.

Parmi les événements liés au déroulement du vol, il est apparu que la nécessité de réaliser une étape supplémentaire, non prévue, présente un impact élevé, voire très élevé, sur la fatigue pour :

- 72% des PNT effectuant des vols long-courriers,
- 56% de ceux réalisant des court-courriers. Cet impact s'avère d'autant plus élevé que les PNT sont jeunes.

La mésentente avec le coéquipier est jugée très fatigante par environ 50% des PNT quelle que soit la nature du vol ; son impact se révèle plus élevé chez les copilotes.

Pour les vols court-courriers, le respect des contraintes horaires s'avère très fatigant pour 51% des PNT alors qu'il ne l'est que pour 26% des PNT des vols long-courriers.

Les rotations long-courriers jugées fatigantes comprennent au moins l'une des trois caractéristiques majeures suivantes :

	<b>% de citations</b>
<b>Vols de nuit</b> cités par les PNT	60 %
<b>Vols avec décalages horaires :</b>	
- vols vers l'Est	20 %
- vols vers l'Ouest	18 %
<b>Vols en équipage de base</b> cités par les PNT	13 %

La rotation la plus souvent citée comme très fatigante par les PNT (6,3% d'exemples) comprend un **vol vers l'Ouest de jour ou de nuit, en équipage de base** avec un **retour de nuit**. On peut citer le cas d'un aller-retour Paris-New York en 48 heures, avec deux nuits successives en vol et un sommeil de jour.

Pour ce qui concerne les rotations court-courriers, les caractéristiques les plus fatigantes s'avèrent être :

	<b>% de citations</b>
<b>Le nombre élevé d'étapes par jour (4 ou 5)</b>	53 %
<b>Les prises de service matinales</b>	41 %
<b>Des vols de nuit</b>	8 %

L'exemple de rotation cité dans 8% des cas se caractérise par un nombre important d'étapes (4 ou 5) avec une succession de réveils matinaux sur 4 jours consécutifs.

### 2.3.2 - Les stratégies de lutte contre la fatigue -

L'analyse des stratégies de lutte contre la fatigue révèle que plus de 70% des PNT utilisent la gestion du sommeil et des siestes avant pendant et après une rotation. La gestion et le choix des activités telles que la pratique d'activités sportives, la relaxation... figure en deuxième place, avec environ 27% de citations. L'hygiène alimentaire pendant la rotation semble être privilégiée par 23% des PNT. Toutefois, il est à noter que 7% des PNT déclarent n'appliquer aucune stratégie et 3% n'ont proposé aucune solution.

D'une manière générale, en préalable à la privation de sommeil liée à l'horaire du vol, les PNT, cherchent à atténuer ses effets soit par une nuit complète de sommeil avant la rotation, soit par le recours à la sieste avant le vol.

En vol pour les long-courriers, c'est la sieste de 20 à 30 minutes qui est la plus citée (40,7%). En court-courrier, fermer les yeux pendant 5 minutes arrive en premier avec 14% de citations. En escale, les PNT des long-courriers déclarent dormir sans restriction alors que ceux des court-courriers pratiquent plutôt la sieste. Dans les deux cas, les PNT déclarent faire du sport en escale et après la rotation .

La récupération après un long-courrier passe par la solution de dormir sans restriction ou de faire une sieste puis une nuit normale alors qu'après une rotation court-courrier, la pratique de la sieste paraît privilégiée.

### 2.3.3 - Les manifestations de la fatigue -

#### 2.3.3.1 - Les manifestations de la fatigue chez soi-même et chez le coéquipier -

La fatigue **chez les PNT** effectuant des **long-courriers** se manifeste par :

	<b>% de citations</b>
Une attention réduite ou dispersée et des difficultés de concentration	25 %
Une envie de dormir	21 %
Une irritation, brûlure et picotement des yeux	14,5%

Chez les **coéquipiers** des **PNT** des **long-courriers**, les trois principales manifestations sont :

	<b>% de citations</b>
Une baisse des communications verbales	31 %
Une augmentation des temps de réaction	13 %
Une mauvaise réceptivité des messages ATC ou coéquipier	12 %

Pour les **PNT** réalisant des **court-courriers**, les principales manifestations de la fatigue s'avèrent être :

	<b>% de citations</b>
Une attention réduite ou dispersée et des difficultés de concentration	23 %
L'oubli ou l'omission	18 %
Une baisse de vigilance ou une somnolence	17 %

Chez leurs **coéquipiers**, les PNT des **court-courriers** reconnaissent la fatigue par les signes suivants :

	<b>% de citations</b>
Petites erreurs	26 %
Baisse des communications verbales	24 %
Mauvaise réceptivité des messages ATC ou coéquipier	17 %

D'une manière générale, les manifestations liées au besoin de dormir constituent chez les PNT la principale manifestation de la fatigue pour eux-mêmes. En revanche, ce sont plutôt les manifestations sur le plan mental qui sont les plus détectées chez le coéquipier : augmentation des temps de réaction et petites erreurs. Ces données suggèrent d'une part que lorsqu'il s'agit de soi-même, les manifestations citées relèvent du vécu de la fatigue alors que pour le coéquipier, elles sont plutôt relatives aux effets de la fatigue sur la qualité de l'exécution des tâches de pilotage. D'autre part, il semble que les PNT dans leur majorité ne sont pas conscients des manifestations, chez eux, de la fatigue sur le plan mental, en particulier ceux effectuant des long-courriers.

#### *2.3.3.2 - Les tâches de pilotage affectées par la fatigue -*

L'impact de la fatigue sur la réalisation des tâches de pilotage concerne par ordre d'importance les trois tâches ci-après (un score de 50 correspond à une évaluation « comme d'habitude » et la valeur 100 à l'effet maximum de la fatigue) :

- 75,23 : surveillance,
- 72,51 : pilotage manuel,
- 70,43 : saisie ou sélection de paramètres.

Ces tâches s'avèrent être affectées quels que soient l'âge et la fonction des PNT et pour tous types de vols court- ou long-courriers.

### **3 - EXPERIMENTATIONS EN LABORATOIRE -**

#### **3.1 - Objectifs -**

Les expérimentations en laboratoire effectuées au cours de cette étude ont pour objectif principal de déterminer l'impact combiné d'une privation partielle de sommeil et d'un effort mental intense sur les performances. En effet, si l'effet des privations totales ou partielles de sommeil sur les performances mentales ont fait l'objet de nombreux travaux, leurs effets combinés avec ceux résultant d'un effort mental intense restent peu connus. Or, ces deux facteurs se trouvent très souvent associés dans le domaine aéronautique, par exemple dans le cas d'atterrissages de nuit ou de vols débutant tôt le matin.

#### **3.2 - Méthode -**

##### 3.2.1 - Protocole et échantillon -

Au cours de ces expérimentations, 2 conditions ont été comparées. Celles-ci sont conçues de manière à représenter des situations que l'on peut retrouver en aéronautique :

- condition contrôle : privation partielle de sommeil de 2 fois 1 heure, entre 23h00 et 07h00,
- condition expérimentale : privation partielle de sommeil, suivie d'un effort mental intense ; la privation partielle de sommeil reste de la même ampleur que dans la condition contrôle.

Au total, 12 sujets, 6 dans la condition contrôle et 6 dans la condition expérimentale, ont participé à ces expérimentations. De manière à disposer d'un échantillon homogène, la sélection des sujets a été effectuée à partir des critères suivants :

- sexe masculin,
- âge compris entre 20 et 30 ans,
- non fumeurs,
- absence de pathologie et de prise de médicaments,
- pas de troubles du sommeil,
- pas de voyages transmériidiens ou de travail de nuit dans les dernières semaines.

### 3.2.2 - Tests utilisés et données recueillies -

Les tests retenus pour soumettre les sujets à une charge de travail importante dans la condition expérimentale ont été choisis de manière à créer une situation représentative de l'activité de pilotage :

- la Multi Attribute Task (MAT) dans laquelle le sujet doit simultanément réaliser une tâche de poursuite, de gestion des ressources et de surveillance. Ce test offre la possibilité de créer des niveaux de charge de travail très élevés,
- un test de fréquence radio dans lequel le sujet doit régler une fréquence radio à l'aide d'un potentiomètre. Cette fréquence lui est transmise par l'intermédiaire d'un casque.

A la place de ces deux tests, les sujets affectés à la condition contrôle ne réalisent que des activités de détente ne requérant pas d'effort important (lecture de magazine, télé, vidéo...).

Avant et après cette séquence, l'ensemble des sujets passent le test de Temps de Réaction de la batterie AGARD STRES. Ce test consiste à présenter un par un des chiffres : 2, 3, 4 et 5. Ces chiffres sont présentés soit à droite soit à gauche de l'écran. En fonction de la valeur et de la position du chiffre, le sujet doit presser le plus rapidement possible une touche appropriée. Les temps de réponse ainsi que les pourcentages d'erreurs sont enregistrés.

En complément de ces paramètres, les données suivantes sont recueillies avant et après la période de tests (condition expérimentale) et la période d'activités de détente (condition contrôle) :

- évaluations subjectives de la fatigue et de la somnolence. Les questionnaires utilisés demeurent identiques à ceux élaborés pour les observations en vol (annexe 1),
- évaluation de la charge de travail à partir de la NASA-TLX (cf. annexe 1),
- l'électro-encéphalogramme (EEG) enregistré au cours du test d'atténuation de l'alpha. Ce test, élaboré par Stampi et coll. (1995) consiste à demander au sujet de fermer et d'ouvrir les yeux pendant des périodes successives de 2 minutes. Le test dure au total 12 minutes. Le coefficient d'atténuation de l'alpha est défini comme le rapport de la puissance du rythme alpha les yeux fermés sur la puissance alpha les yeux ouverts. Il constitue un indicateur objectif de la somnolence : plus le rapport diminue, plus la somnolence physiologique se révèle élevée.

Le temps nécessaire au recueil de ces données (évaluations subjectives, test d'atténuation de l'alpha et test de temps de réaction) s'élève à environ 30 minutes.

### 3.2.3 - Déroulement des expérimentations -

Les expérimentations se déroulent sur une période de 2 jours. Le jour 1 (J1), est consacré à l'apprentissage des différents tests.

Dans la nuit du J1 au J2, l'ensemble des sujets subissent une privation partielle de sommeil. Celle-ci consiste à les réveiller à 02h00, 05h00 et 08h00 pendant environ 45 minutes. En moyenne, les sujets présentent une durée de sommeil de l'ordre de 6 heures 30. Par ailleurs, cette procédure entraîne un sommeil fragmenté et de mauvaise qualité.

A 11h00, un premier recueil de données est réalisé (évaluations subjectives de la fatigue, test d'atténuation du rythme alpha et test de temps de réaction). Entre 11h00 et 13h00, le groupe expérimental est soumis à une charge de travail importante. Dans le même temps le groupe témoin se livre à des activités de détente. A 13h00, un dernier recueil de données est effectué. Les sujets repartent du laboratoire vers 13h45.

### 3.2.4 - Résultats -

Les principaux résultats sont présentés sur la figure n°1 pour les temps de réponse, les pourcentages d'erreurs, le test d'atténuation du rythme alpha et les évaluations subjectives de la fatigue et de la somnolence. Les données sont exprimées en pourcentage de variation entre les valeurs obtenues à 11h00 et à 13h00 pour le groupe témoin et le groupe ayant passé la MAT. Sur le plan des performances, on ne constate pas de variation des temps de réponse pour les deux groupes de sujets. A l'inverse, les pourcentages d'erreurs augmentent d'environ 25% pour le groupe « MAT » alors qu'ils diminuent d'environ 20% pour le groupe témoin. Ces résultats suggèrent donc que l'effort mental intense imposé par la tâche contribue à dégrader la performance en terme de pourcentage d'erreur. Cette dégradation des performances s'accompagne d'une augmentation des sensations de fatigue (+25%) et de somnolence (+80%) pour le groupe « MAT » alors que pour le groupe témoin la fatigue diminue (-20%) et la somnolence augmente peu (+20%). Ces manifestations subjectives se trouvent confirmées sur le plan objectif grâce au test d'atténuation du rythme alpha. Ce paramètre diminue pour le groupe « MAT » ce qui traduit une augmentation de la somnolence physiologique probablement liée à un « relâchement » des sujets à la suite de l'effort intense fourni au cours des 2 dernières heures. A l'inverse, pour le groupe témoin on note une augmentation de cet indicateur.

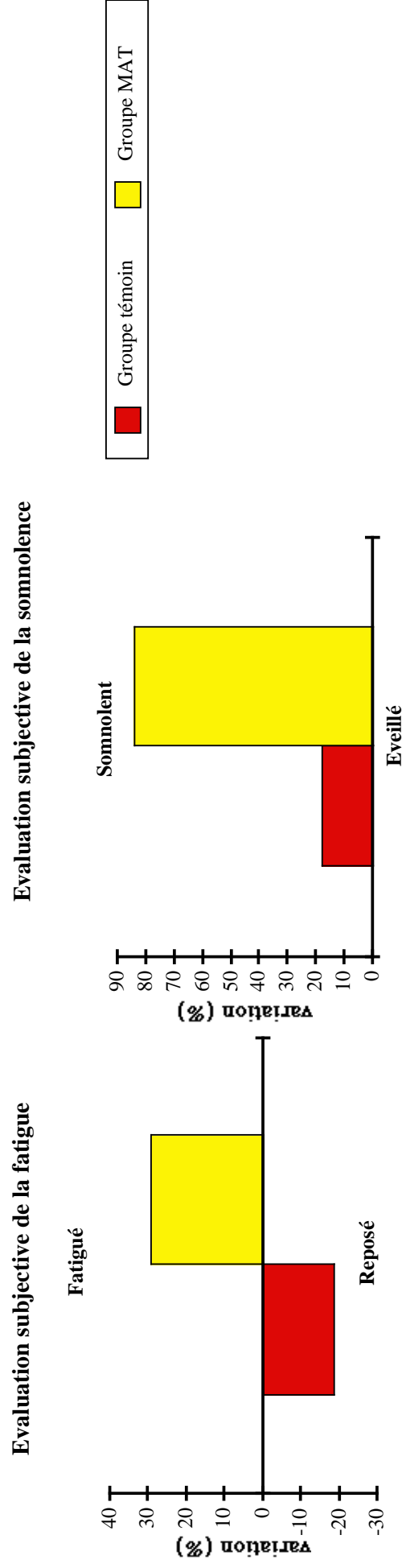
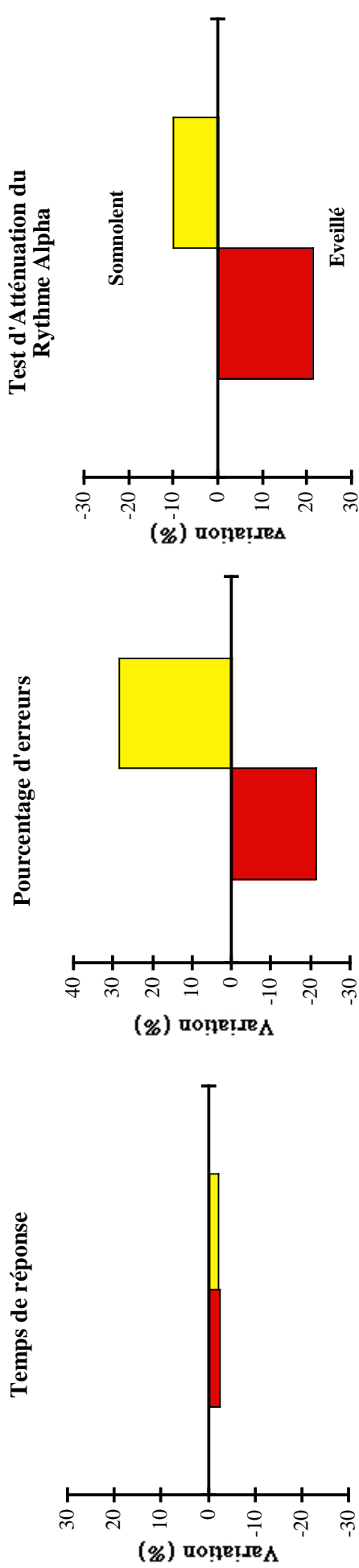


Figure n°1 . Pourcentage de variation des performances, de la fatigue et de la somnolence entre 11h et 13h Comparaison du groupe témoin et du groupe ayant passé la Multi Attribute Task (MAT).



L'analyse des résultats concernant la sélection des fréquences radio ne montre aucune variation entre les deux conditions. Les sujets du groupe « MAT » ont maintenu le même niveau d'efficacité pour cette tâche manuelle de précision, vraisemblablement en fournissant un effort mental important qui se répercute ensuite à la fin du test sur les différents indicateurs de fatigue et de charge de travail. On doit toutefois se poser la question de l'évolution de ce critère de performance (qualité de la sélection radio) dans le cas d'une accumulation de fatigue, les effets de cette accumulation de fatigue étant connu pour dégrader la qualité des actions motrices nécessitant une mémorisation préalable d'informations auditives et des ajustements moteurs fins.

Bien que les différences présentées ne soient pas statistiquement significatives en raison du faible nombre de sujets testés, les résultats obtenus montrent, à la fois sur le plan subjectif et objectif, que les effets de la privation partielle de sommeil se trouvent amplifiés lorsqu'un effort mental intense est fourni. Transposés au monde aéronautique, ces résultats suggèrent qu'un pilote ayant peu dormi, en raison notamment de ses horaires de travail, et confronté à une charge de travail élevée (conditions de vol dégradées, approches délicates sur certains terrains) est davantage susceptible de commettre des erreurs. Ces résultats confortent à la fois les réponses des PNT à l'enquête et les observations effectuées en vol présentées dans le chapitre suivant.

## **4 - EVALUATIONS DE LA FATIGUE ET OBSERVATIONS EN VOL -**

### **4.1 - Objectif -**

L'objectif de ces évaluations est d'apporter des données sur l'évolution de la fatigue au cours de vols réels, en relation avec les horaires de travail et la durée du sommeil. Outre l'évaluation quantitative de la fatigue à partir de questionnaires, ces vols constituent également une opportunité pour réaliser des observations centrées sur les différents facteurs susceptibles de favoriser la fatigue ou d'en aggraver ses conséquences sur le plan des performances des pilotes et par voie de conséquence sur la sécurité des vols.

## 4.2 - Méthode -

### 4.2.1 - Données recueillies -

La méthode d'évaluation de la fatigue, mise au point et testée lors des phases précédentes, repose sur le recueil des données suivantes :

- **les durées des sommeils** et des siestes éventuelles avant, pendant et après les rotations : le recueil est réalisé à partir d'un agenda de sommeil. Il débute un jour avant le départ (J0) et se termine le 3ème jour de repos (R3) après la fin de la rotation.
- **les sensations de fatigue globale et de somnolence** au coucher et au lever, en fin de vol et au cours des repos,
- **les manifestations de la fatigue** sur le plan physique, mental, sensoriel et de l'humeur ; ces évaluations sont recueillies en fin de vol,
- **la charge de travail** en fin de vol évaluée à l'aide de la NASA-TLX.

### 4.2.2 - Vols effectués -

Les résultats présentés dans ce rapport portent sur un total de 75 vols dont 67 court- et moyens-courriers et 8 vols long-courriers. Les vols court- et moyens-courriers ont été largement privilégiés dans cette étude puisque les long-courriers ont déjà fait l'objet de nombreux travaux, en particulier ceux menés par le Laboratoire sur l'hypovigilance et le sommeil qui se sont traduits par un guide de recommandations à l'attention des PNT, ce guide étant co-édité par la DGAC-SFACT (version française) et AIRBUS INDUSTRIE (version anglaise et chinoise). De ce fait, les résultats présentés dans ce rapport portent uniquement sur les vols court- et moyens-courriers. Les résultats obtenus en long-courriers ont été discutés dans les premières phases de l'étude (Doc. AA 358/96 et 373/97 ).

Les tableaux 1.1 et 1.2 résument les principales caractéristiques des vols étudiés. Il convient de préciser qu'une majorité de ces vols (n=44) a été effectué avec la compagnie AOM. Les autres vols ont été réalisés avec AIR FRANCE (n=23) et avec LA POSTALE (n=8). Les vols court- et moyens-courriers étant pour la plupart des vols de jour, peu de vols de nuit ont été étudiés. Ces derniers, effectués avec LA POSTALE, appartiennent à des rotations effectuées sur 4 nuits successives. Pour ces rotations, les observations ont porté sur les 2 premiers vols de nuit.

ROTATIONS				
Code	Equipage	Jours	Vol	Période
AF01	PEQ 3	J1	Orly - Tunis	étape de jour
			Tunis - Nairobi	étape de nuit
		J2	Nairobi - Roissy	étape de nuit
AF02	PEQ 3	J1	Orly - Lagos	étape de nuit
			Lagos - Douala	étape de nuit
		J2	Douala - Lagos	étape de nuit
			Lagos - Orly	étape de nuit
AOM1	PEQ 4	J1	Roissy - Lyon	étape de nuit
			Lyon - La Réunion	étape de jour
		J2	La Réunion - Orly	étape de nuit
AOM2	PEQ 4	J1	Orly - La Réunion	étape de nuit
		J2	La Réunion - Lyon	étape de nuit
			Lyon - Orly	étape de jour
AOM3	PEQ 2	J1	Orly - Olbia	1300-2000
			Olbia - Orly	
			Orly - Toulon	
		J2	Toulon - Orly	0600-0700
POSTALE1	PEQ 3	J1	Roissy - Toulouse	1800-0300
			Toulouse - Roissy	
			Roissy - Marseille	
			Marseille - Roissy	
POSTALE2	PEQ 3	J1	Roissy - Brest	2330-0100
		J2	Brest - Roissy	2000-2130
POSTALE3	PEQ 3	J1	Roissy - Brest	2330-0100
		J2	Brest - Roissy	2000-2130
AF3	PEQ 2	J1	Paris - Munich	0740-0910
			Munich - Paris	1000-1135
			Paris - Lyon	1235-1335
		J2	Lyon - Paris	0730-0835
			Paris - Londres	0935-1045
J3	Londres - Paris	1200-1305		
	Paris - Munich	1410-1535		
J4	Munich - Paris	0715-0850		
	Paris - Moscou	0940-1310		
J4	Moscou - Paris	0530-0910		

PEQ2, PEQ3 : équipage de base PEQ4 : équipage renforcé

Tableau 1.1. Caractéristiques des rotations étudiées.

ROTATIONS				
Code	Equipage	Jours	Vol	Période
AF4	PEQ 2	J1	Paris - Moscou	1600-1930
		J2	Moscou - Paris	1410-1755
			Paris - Budapest	1910-2115
		J3	Budapest - Paris	1600-2130
Paris - Madrid	1920-2120			
		J4	Madrid- Paris	1820-2020
AOM4	PEQ 2	J1	Paris CDG - Olbia	0600-0745
			Olbia - Paris CDG	0845-1030
		J2	Orly - Marseille	0740-0855
			Marseille - Orly	0930-1045
			Orly - Nice	1155-1320
		J3	Nice - Orly	1400-1525
			Orly - Nice	1410-1535
			Nice - Orly	1610-1735
			Orly - Nice	1825-1950
		J4	Nice - Orly	2030-2155
Orly - Nice	0925-1050			
Nice - Orly	1145-1310			
			Orly-Copenhague	1400-1555
			Copenhague - Orly	1655-1845
AOM5	PEQ 2	J1	Orly - Nice	1610-1735
			Nice - Orly	1810-1935
			Orly - Nice	2050-2215
		J2	Nice - Orly	0720-850
			Orly - Perpignan	0930-1050
			Perpignan - Orly	1200-1320
		J3	Orly - Toulon	0800-0925
			Toulon - Orly	1000-1125
			Orly - Toulon	1230-1355
			Toulon - Orly	1455-1620
		J4	Orly - Marseille	1600-1715
			Marseille - Orly	1800-1915
			Orly - Marseille	2000-2115
		J5	Marseille - Orly	0730-0845
Orly - Nice	0925-1050			
Nice - Orly	1145-1310			
J6	Orly - Toulon	1655-1820		
	Toulon - Orly	1900-2025		
	Orly - Marseille	2100-2215		
J7	Marseille - Orly	0700-0815		

Tableau 1.2. Caractéristiques des rotations étudiées.

Les rotations court- et moyens-courriers étudiées peuvent être regroupées en 4 catégories en fonction des horaires des vols et du nombre de jours effectués :

- rotation du type « matin » sur 4 jours : le premier vol débute chaque jour entre 06:00 et 09:30,
- rotation du type « après-midi » sur 4 jours : le premier vol de la journée débute entre 14:00 et 17:00,
- rotation du type « mixte » sur 4 jours : la rotation comporte à la fois des vols du matin et des vols de l'après-midi,
- rotation du type « mixte » sur 7 jours.

L'analyse des résultats consiste à déterminer l'impact des horaires de travail, du nombre d'étapes par jour et du nombre de jours de travail sur le sommeil, la fatigue et la charge de travail des équipages. La plupart des analyses repose sur une comparaison des effets des vols du matin et de l'après-midi. Du fait du faible nombre de vols de nuit, les données relatives à ces vols n'ont été intégrées aux comparaisons que pour certaines analyses lorsqu'un nombre suffisant de données était disponible.

### 4.3 - Résultats -

#### 4.3.1 - Synthèse des observations en vol -

Les observations réalisées en vols court- et moyens-courriers font ressortir trois contraintes essentielles susceptibles de favoriser la fatigue ou de renforcer ses effets négatifs sur la performance des équipages.

**La pression temporelle.** L'équipage, plus particulièrement le CDB, doit faire face à des contraintes horaires très importantes l'amenant à effectuer une véritable « course contre la montre », notamment lors des journées comportant 4 étapes. La durée extrêmement courte des escales, dans certains cas 35 minutes, nécessite que l'équipage mobilise un effort important pour réaliser de nombreuses actions et vérifications dans un minimum de temps, tout en conservant la rigueur nécessaire à la sécurité des vols. A ce titre, les « check-lists » très longues que l'équipage doit effectuer, notamment sur le MD83, allongent cette préparation. Les effets pénalisants de ces contraintes horaires se trouvent fortement amplifiés par les nombreux événements pouvant survenir lors de ce type de rotation, ainsi que par les fréquentes sollicitations provenant du coordinateur au sol, du PNC et des passagers.

Les exemples suivants ne constituent qu'une partie des événements relevés :

- passagers enregistrés sur le vol ayant perdu leur carte d'embarquement ce qui nécessite une recherche des bagages en soute,
- demandes des PNC relatives au manque de prestations ou à l'état de la cabine,
- température élevée en cabine engendrant des plaintes des passagers transmises par le PNC au cockpit.

Le CDB représente donc l'interlocuteur central vers lequel convergent toutes les plaintes et demandes, qu'elles soient d'ordre techniques ou commerciales.

La pression engendrée par ces sollicitations devient d'autant plus forte dans le cas, très fréquent d'un retard sur l'horaire prévu. Cela se traduit généralement par l'attribution d'un créneau horaire de départ encore plus tardif transmis par le contrôle aérien. Cette attribution, vécue par l'équipage comme une « épée de Damoclès », accentue encore le retard et les plaintes des passagers. Les vols s'enchaînant à un rythme rapide tout au long de la journée, un retard en début de journée est conservé jusqu'au dernier vol, malgré les efforts de l'équipage pour le réduire.

**Le caractère répétitif.** Cet autre aspect qui ressort des observations et des entretiens avec les pilotes a trait au caractère répétitif du travail effectué par l'équipage, compte tenu du nombre d'atterrissages et de décollages effectués par jour. Au cours d'une journée, une certaine lassitude semble apparaître à partir de la troisième étape. Ce caractère répétitif se trouve accentué lors des rotations étudiées sur AOM en raison du réseau restreint sur lequel opère cette compagnie. Ainsi, sur les quatre jours correspondant à l'une des rotations étudiées ( AOM4 cf. tableau 1.2), on compte 8 étapes Paris-Nice et 2 étapes Paris-Marseille ce qui se traduit par des plans de vols identiques que l'équipage connaît par coeur. Il conviendrait probablement d'introduire dans la planification des rotations une plus grande diversité des vols programmés sur une même journée afin de limiter les effets de routine.

**L'ergonomie du poste de pilotage.** Les observations effectuées ont également permis de noter certains éléments liés à l'ergonomie du poste de pilotage du MD-83. Ce poste, de dimensions très réduites, présente par ailleurs l'inconvénient d'être relativement bruyant et difficile à ventiler. Outre ces aspects liés à l'aménagement physique, on note une certaine hétérogénéité de l'équipement du cockpit lorsque l'on passe d'un avion à l'autre. La plupart des appareils disposent d'un Flight Monitor System (FMS) mais d'autres, plus anciens, n'en disposent pas, ce qui oblige l'équipage à revenir à une navigation plus traditionnelle.

On retrouve cette disparité sur le plan des interfaces, certains appareils étant équipés d'écrans cathodiques (EFIS), alors que d'autres ont conservé les cadrans classiques. Bien qu'au cours des discussions le CDB ne se soit pas déclaré gêné par cette variété d'équipements, on peut s'interroger sur l'ampleur de l'adaptation que doit réaliser l'équipage d'un avion à l'autre sur une même journée.

Ces contraintes et sollicitations, susceptibles de générer du stress, constituent à l'évidence des composantes essentielles de la charge de travail des pilotes et par conséquent du niveau de fatigue qui peut en résulter.

#### 4.3.2 - Durée et qualité du sommeil -

Les durées moyennes des sommeils précédant les vols du matin et de l'après-midi sont présentées sur la figure n°2. De manière à comparer ces durées à une référence, le besoin préférentiel en sommeil des équipages est également reporté. Cette valeur de référence est déterminée à partir d'un questionnaire demandant aux équipages à quelle heure ils préfèrent se coucher et se lever lorsqu'ils sont libres de toute contrainte. Par rapport à cette durée préférentielle, on constate pour ces deux types de vol, une réduction notable de la durée du sommeil, beaucoup plus importante avant les vols du matin qu'avant les vols d'après-midi : elle correspond respectivement à environ 3h30 et 1h45 de privation de sommeil. Cette forte réduction de la durée du sommeil associée aux vols du matin s'explique par la difficulté bien connue des équipages à avancer leurs horaires de coucher la veille de ces vols. Ce phénomène est très net lorsque l'on confronte les horaires de sommeil pour une rotation ne comprenant que des vols du matin et une rotation ne comportant que des vols d'après-midi (figure n°3).

Sur la figure n°4 sont reportées les durées moyennes de sommeil lors des trois nuits de récupération qui suivent les rotations. Les données présentées concernent toutes les rotations court- et moyens-courriers, la distinction entre les vols du matin et de l'après-midi n'étant pas possible, certaines rotations comportant ces deux types de vols (rotations mixtes). Bien que ces durées se révèlent supérieures à celles observées lors des rotations, on constate qu'elles demeurent inférieures d'au moins 1 heure à la durée de référence (09h10). Ceci peut s'expliquer en partie par les problèmes rencontrés par les équipages à adopter des horaires réguliers de sommeil après plusieurs jours d'horaires décalés. Après 5 jours de vols du matin, l'équipage tend à conserver des horaires matinaux de lever. L'analyse des commentaires reportés dans les agendas souligne également l'impact de facteurs d'ordre extra-professionnels, tels que la garde des enfants, les démarches administratives, ... qui sont fréquemment privilégiées lors de ces périodes de repos.

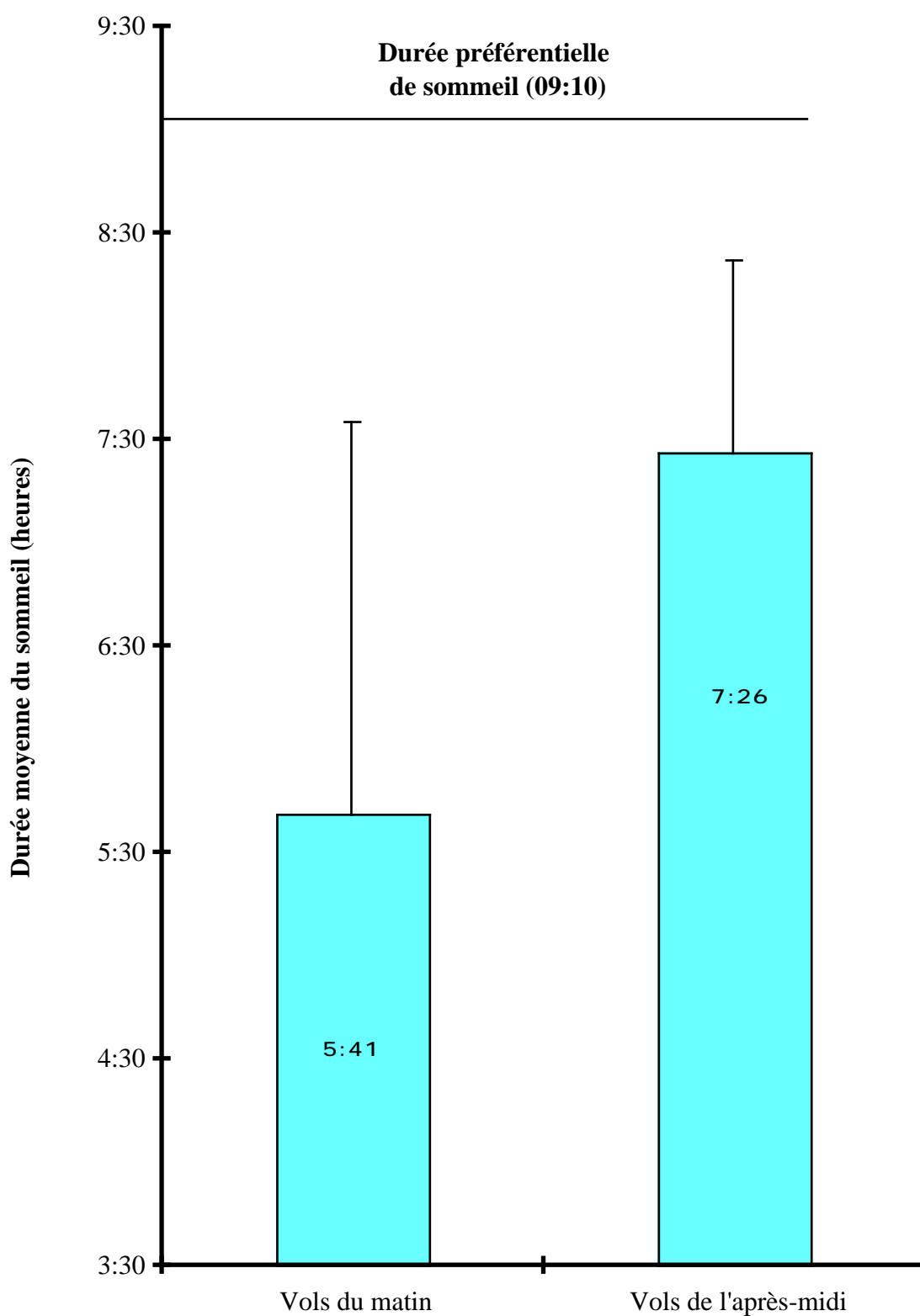
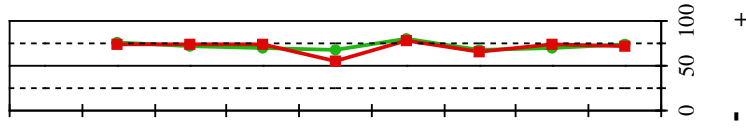


Figure n° 2. Comparaison des durées moyennes de sommeil avant les vols du matin et les vols d'après-midi

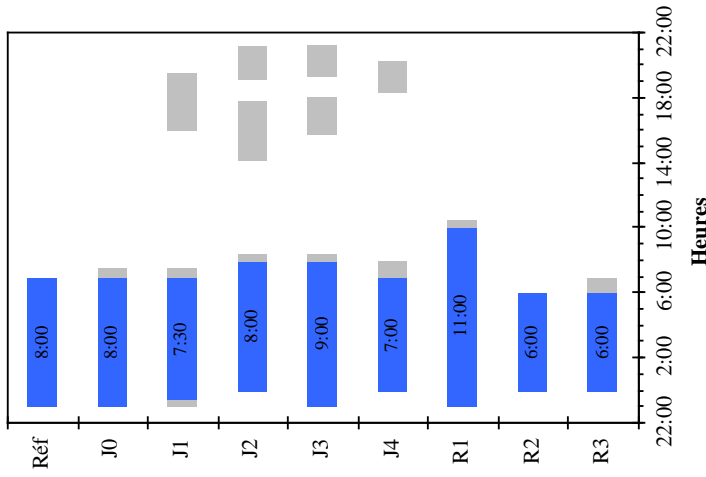


### Rotation d'après - midi Pilote A

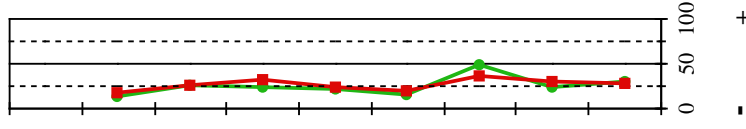
Sensations de fatigue et de somnolence AVANT sommeil nocturne (U.A.)



Durées de sommeil (heures)

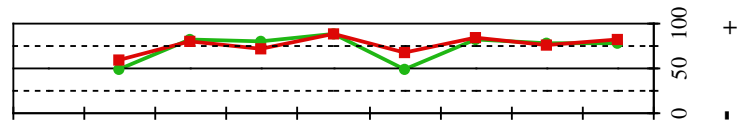


Sensation de fatigue et de somnolence APRES sommeil nocturne (U.A.)

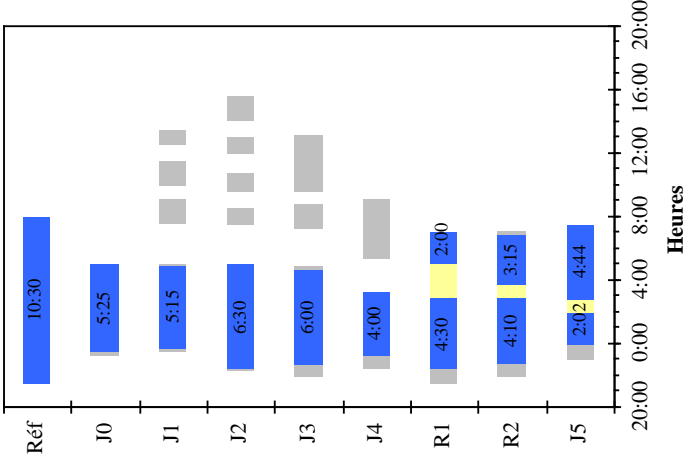


### Rotation du matin Pilote B

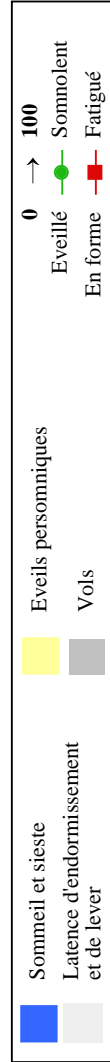
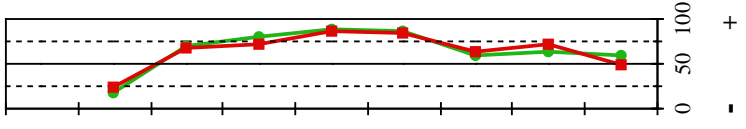
Sensations de fatigue et de somnolence AVANT sommeil nocturne (U.A.)



Durées de sommeil (heures)



Sensation de fatigue et de somnolence APRES sommeil nocturne (U.A.)



Réf : horaire et durée habituelle du sommeil pour le pilote concerné.

U.A. : Unités Arbitraires

Figure n°3  
Horaires, durées de sommeil, fatigue et somnolence au coucher et au lever.  
Comparaison des résultats pour une rotation du matin et de l'après-midi.

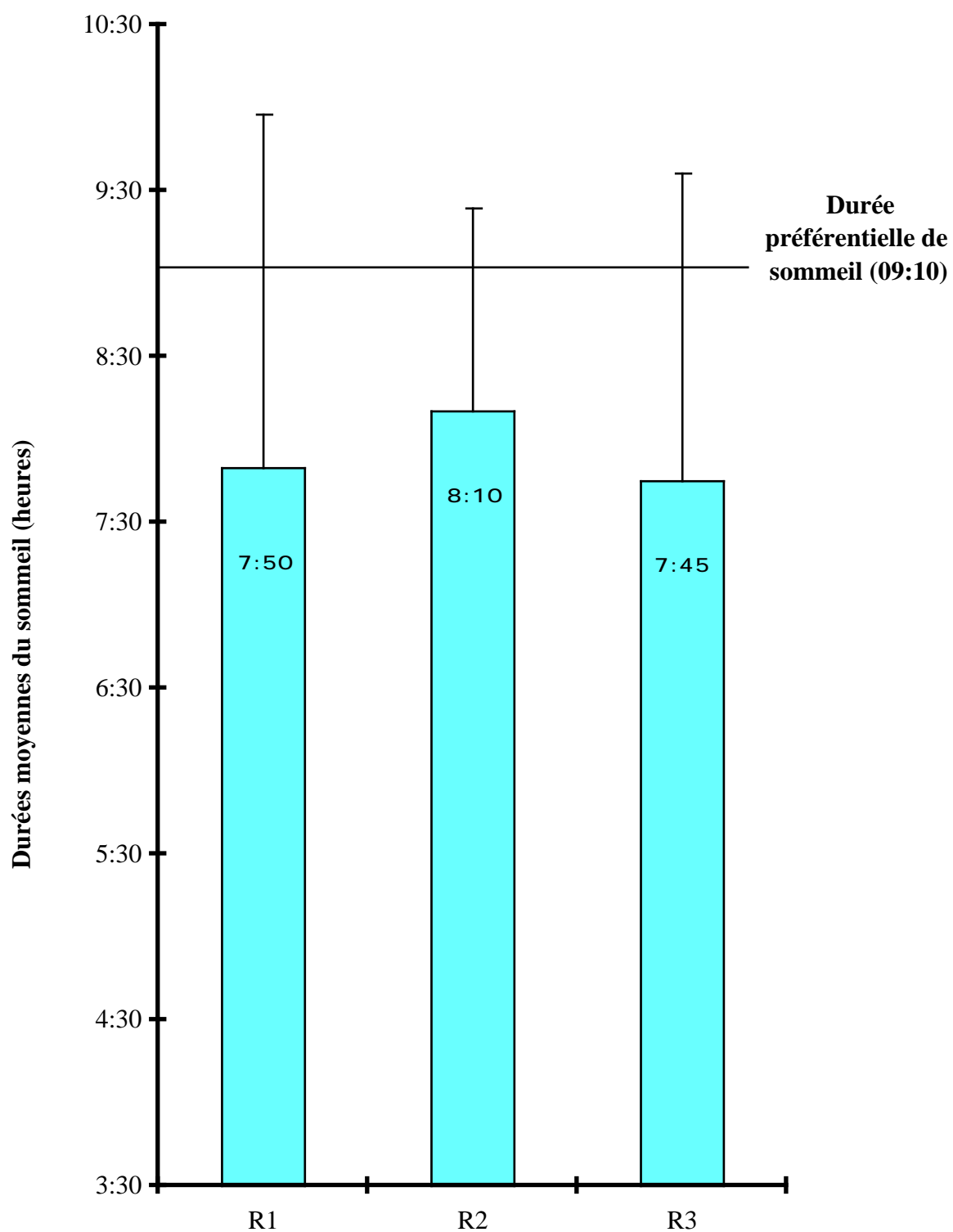


Figure n°4.  
Durées moyennes de sommeil au cours des journées de repos

La qualité du sommeil est évaluée en comparant les évaluations de somnolence et de fatigue au coucher et au lever. Un sommeil de bonne qualité, c'est-à-dire permettant une récupération optimale de la fatigue accumulée dans la journée se traduit généralement par une somnolence et une fatigue plus faibles au lever qu'au coucher.

La figure n°5 présente l'évolution de ces paramètres depuis le jour précédant la rotation jusqu'au troisième jour de repos qui suit la rotation. On constate que la somnolence et la fatigue restent élevées, supérieures à 70 au coucher pendant pratiquement toute la période étudiée. Au lever, la somnolence augmente linéairement avec le nombre de jours de travail et dépasse les niveaux observés au coucher à partir du cinquième jour de la rotation. Pour la rotation se déroulant sur 7 jours, les valeurs constatées le 7ème jour sont supérieures à 90, sur une échelle allant de 0 à 100. Les valeurs diminuent ensuite à partir de la première journée de récupération pour atteindre un niveau identique à celui observé la veille de la rotation. Une évolution sensiblement identique est observée pour la fatigue avec des valeurs au coucher beaucoup plus élevées que pour la somnolence lors des trois dernières journées de travail.

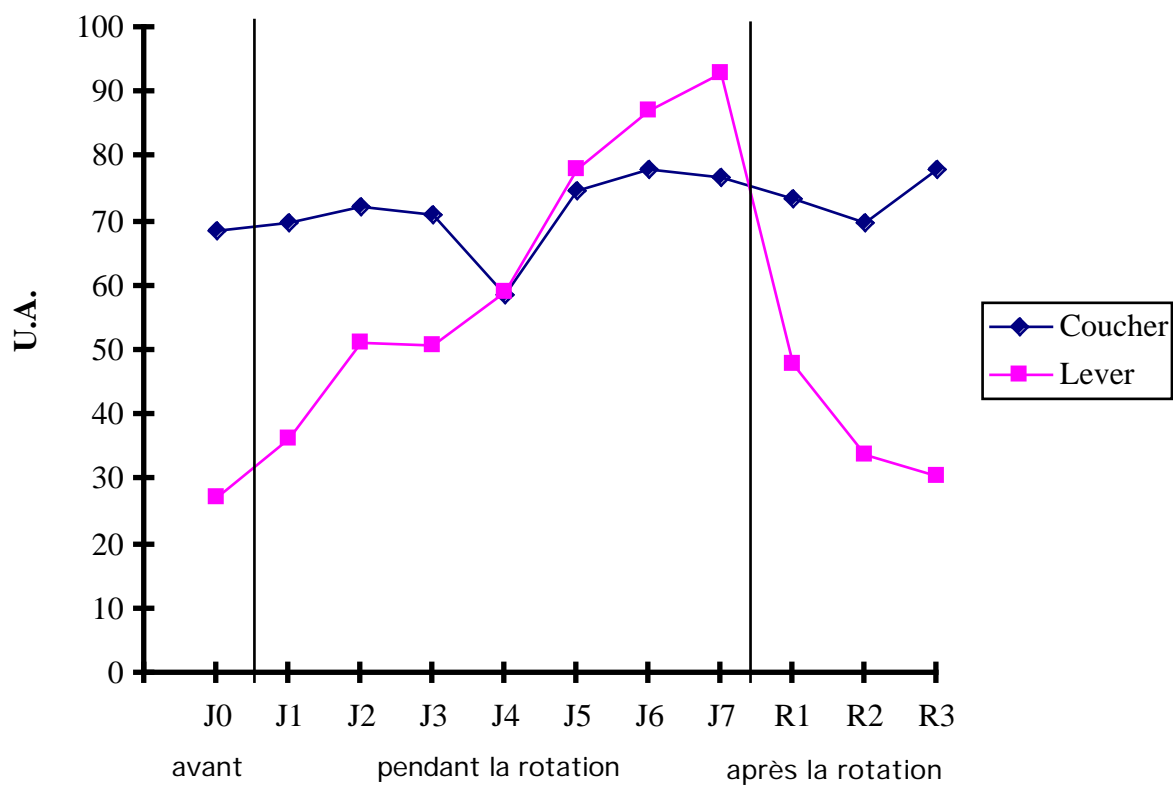
La figure n°6 permet de comparer la fatigue et la somnolence au coucher et au lever pour les vols du matin et de l'après-midi. Ces résultats confirment ceux observés pour les durées de sommeil, les vols du matin entraînant une fatigue plus importante que ceux effectués dans l'après-midi. Toutefois, cette différence ne se révèle significative que pour les valeurs recueillies au lever, les valeurs observées au coucher demeurant très élevées pour les deux types de vols.

Ces résultats illustrent l'impact des horaires de travail, matin et après-midi, ainsi que du nombre de jours de travail sur la durée et la qualité du sommeil. Ils confirment l'effet négatif des vols du matin qui entraînent de fortes privations de sommeil et donc une fatigue et une somnolence importantes au lever. Ils montrent également que ces sensations deviennent très élevées après le 4ème jour de travail.

#### 4.3.3 - Fatigue et somnolence en fin de vol -

Au cours des rotations étudiées, les équipages évaluaient leur fatigue et leur somnolence quelques minutes après l'atterrissage. Rappelons que les évaluations comportent des échelles analogiques et un questionnaire portant sur les différentes manifestations de la fatigue. La figure n°7 présente une analyse globale des vols du matin, d'après-midi et de nuit. Ces derniers, bien qu'étant sous-représentés (n=9) ont été intégrés à cette analyse car ils fournissent une référence, étant généralement considérés comme les plus fatigants. Les résultats indiquent que les vols du matin génèrent le maximum de fatigue avant les vols de nuit et les vols d'après-midi.

**SOMNOLENCE**



**FATIGUE**

U.A. : Unités Arbitraires

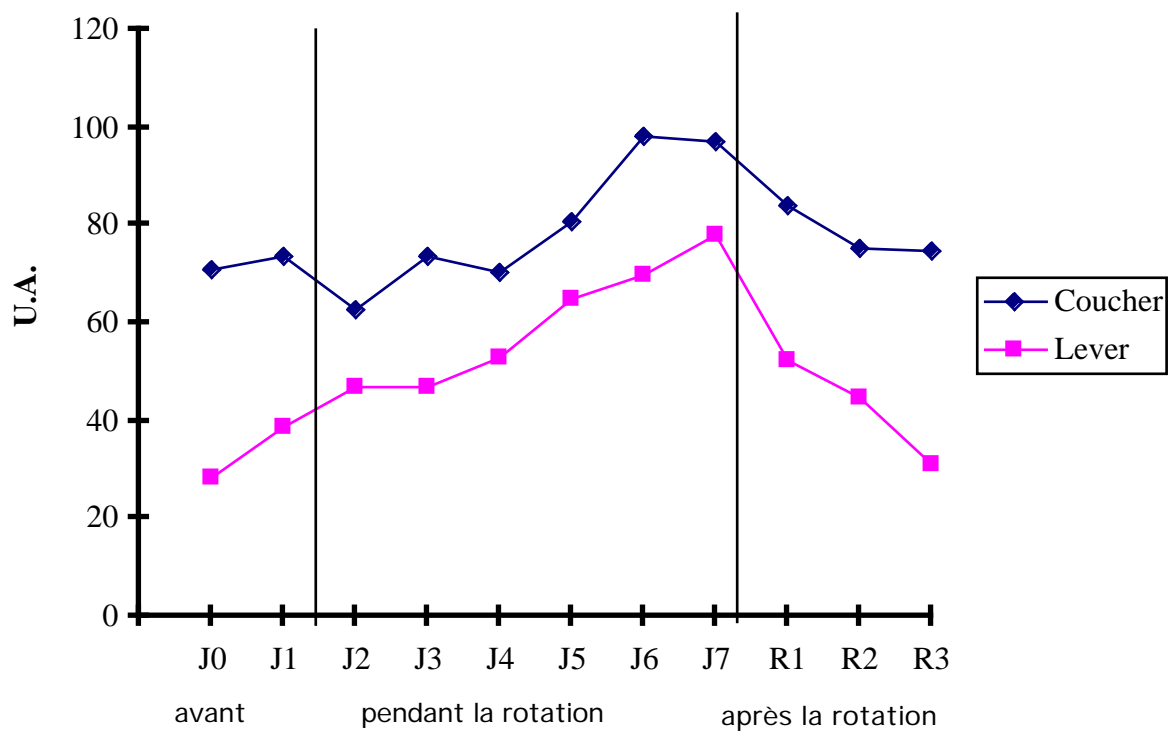


Figure n°5. Evaluation de la somnolence au lever et au coucher au cours de la rotation et des journées de repos

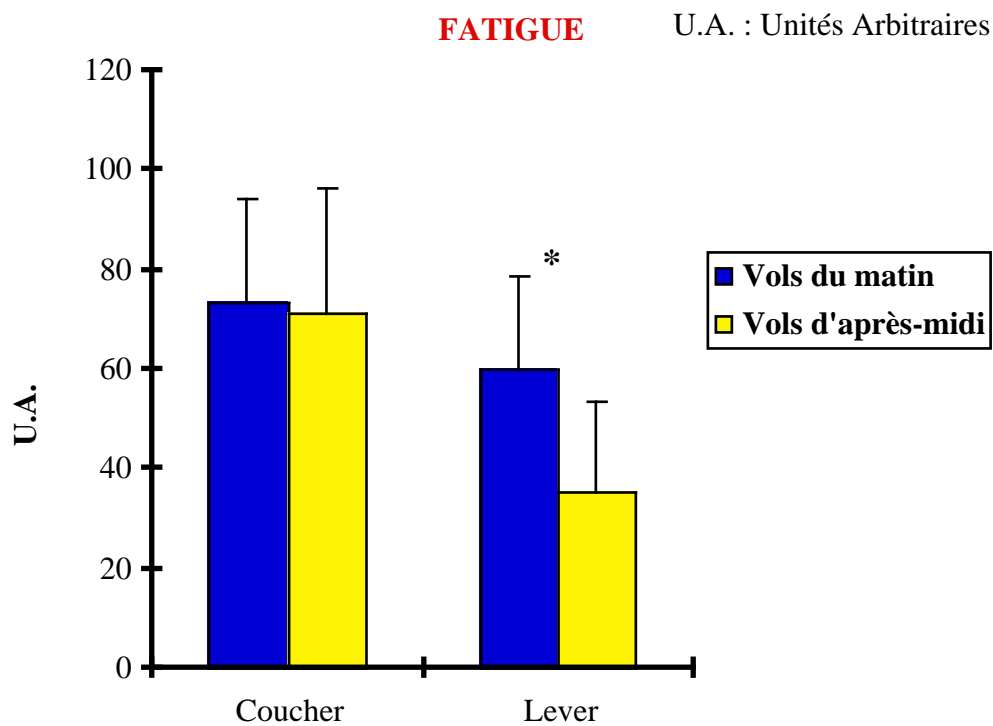
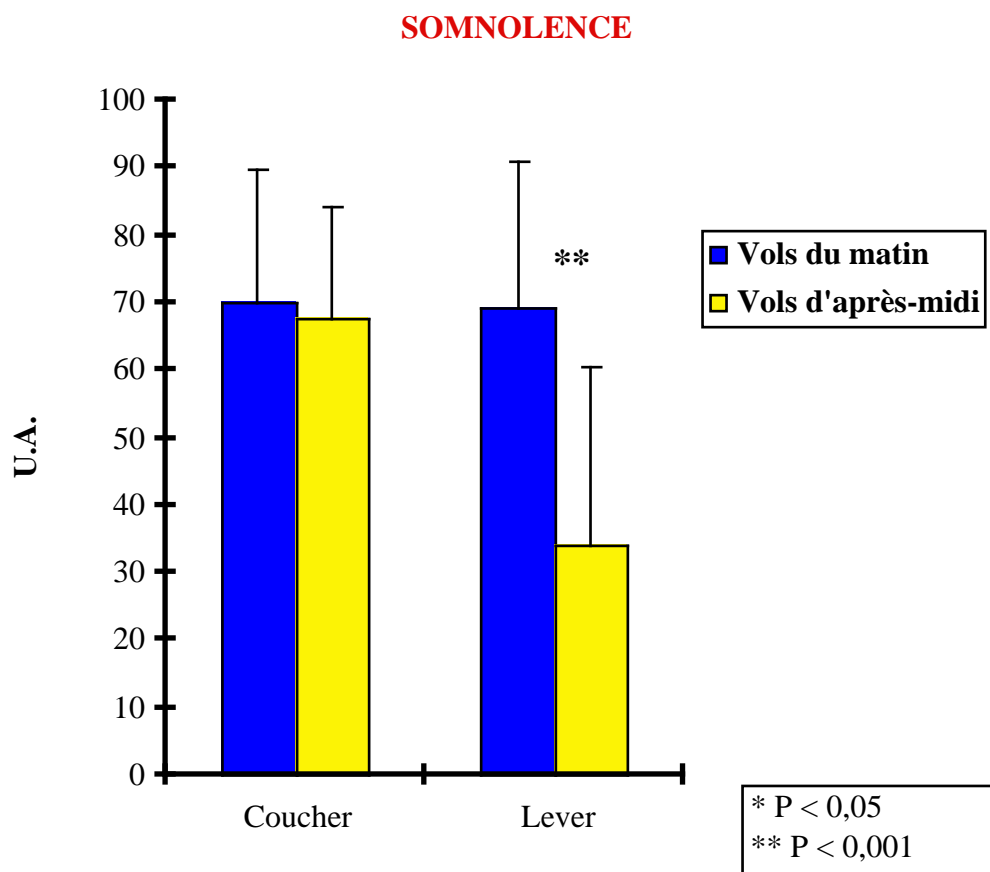


Figure n°6. Evaluation de la somnolence au lever et au coucher avant les vols du matin et d'après-midi

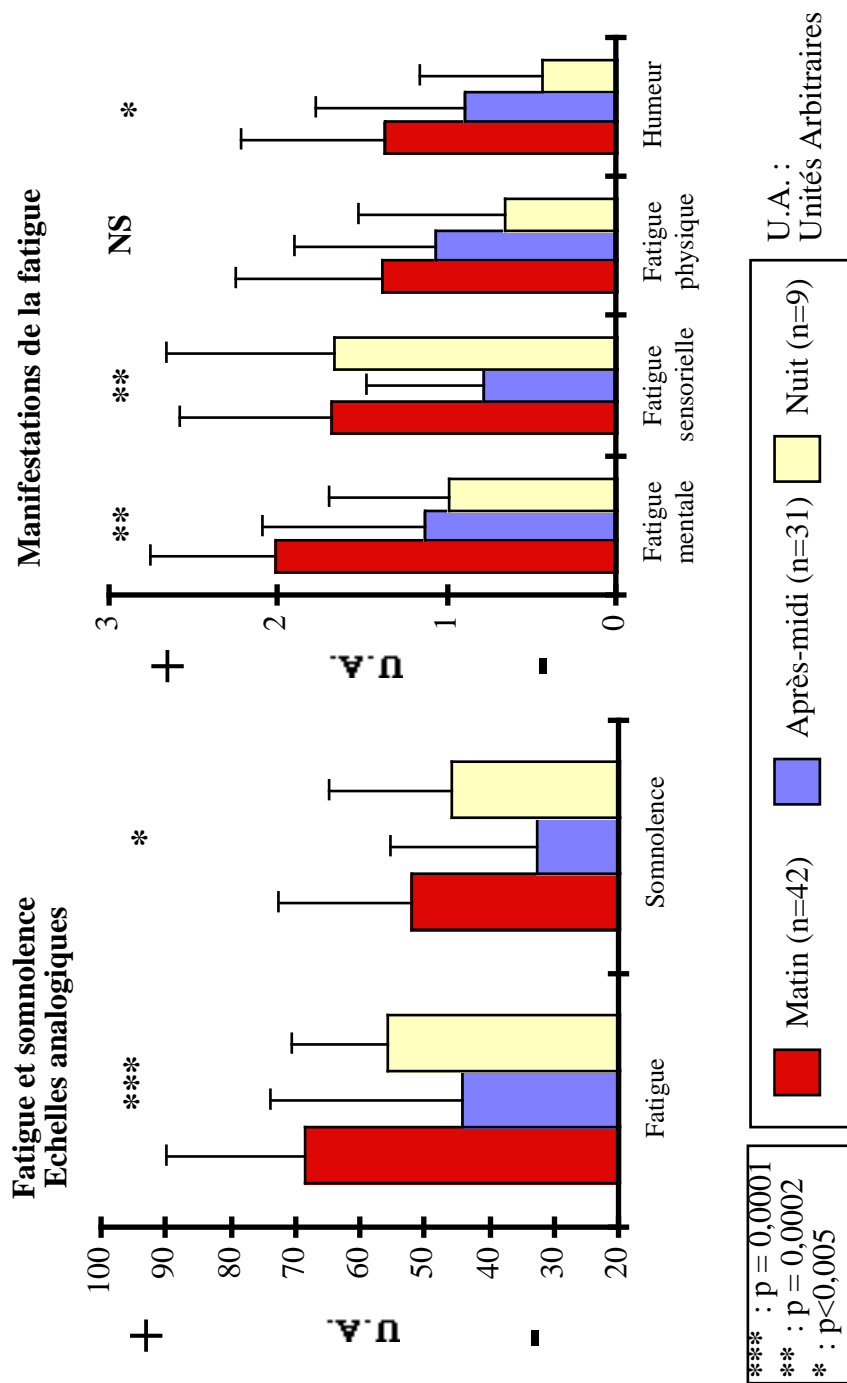


Figure n° 7.  
 Comparaison des évaluations subjectives de la fatigue et de la somnolence au cours des vols du matin, de l'après-midi et de nuit.

Les différences sont significatives pour toutes les évaluations, à l'exception de la fatigue physique. Ce résultat s'explique par l'impact des vols du matin sur la durée et la qualité du sommeil évoqué dans le chapitre précédent.

Afin d'étudier l'évolution de ces paramètres au cours de la journée et de déterminer ainsi l'effet du nombre d'étapes successives, les scores moyens ont été calculés pour chaque étape, pour les vols du matin et pour les vols de l'après-midi (figure n°8). Les données ont été analysées par Analyse de la Variance (ANOVA) à mesures répétées pour l'évolution au cours de la journée et par ANOVA factorielle pour comparer les vols du matin et de l'après-midi. Pour la fatigue, la somnolence, la fatigue mentale et sensorielle, on constate une augmentation significative du nombre d'étapes pour les vols d'après-midi avec une différence significative entre les étapes 1, 2 et les étapes 3, 4. A l'inverse, on n'observe aucune différence significative pour les vols du matin, les sensations de fatigue étant très élevées dès la première étape. Ces résultats confirment d'une part l'impact des vols du matin sur la fatigue qui se révèle élevée dès la première étape et mettent en évidence une accumulation de la fatigue au cours des vols d'après-midi. Ceux-ci deviennent aussi fatigants que des vols du matin à partir de la troisième étape. On observe donc un effet de la troisième étape confirmant les observations et les impressions exprimées par les équipages (cf. § 4.3.1).

#### 4.3.4 - Evaluation de la charge de travail en fin de vol -

En complément des aspects concernant la fatigue, l'équipage évaluait sa charge de travail juste après chaque atterrissage, en répondant au questionnaire de la NASA-TLX.

La comparaison des scores des 6 échelles pour les vols du matin, d'après-midi et de nuit (figure n°9) révèle des résultats identiques à ceux observés pour la fatigue. Les différences constatées sont significatives pour toutes les échelles. On constate que la charge de travail est la plus élevée pour les vols du matin, elle décroît ensuite pour les vols de l'après-midi et pour les vols de nuit. L'auto-évaluation de la performance suit une tendance très différente : elle est maximum pour les vols d'après-midi et la plus basse pour les vols de nuit. Ces résultats suggèrent qu'il existe une relation entre les sensations de fatigue, la charge de travail et la perception de sa propre performance : plus la fatigue est élevée, plus la charge de travail augmente. Pour les vols du matin, cette charge de travail élevée s'accompagne d'une réduction de l'auto-évaluation de la performance. Les vols de nuit se singularisent par rapport aux deux autres types de vols puisqu'à une faible charge de travail se trouvent associés de faibles scores sur l'échelle des performances.

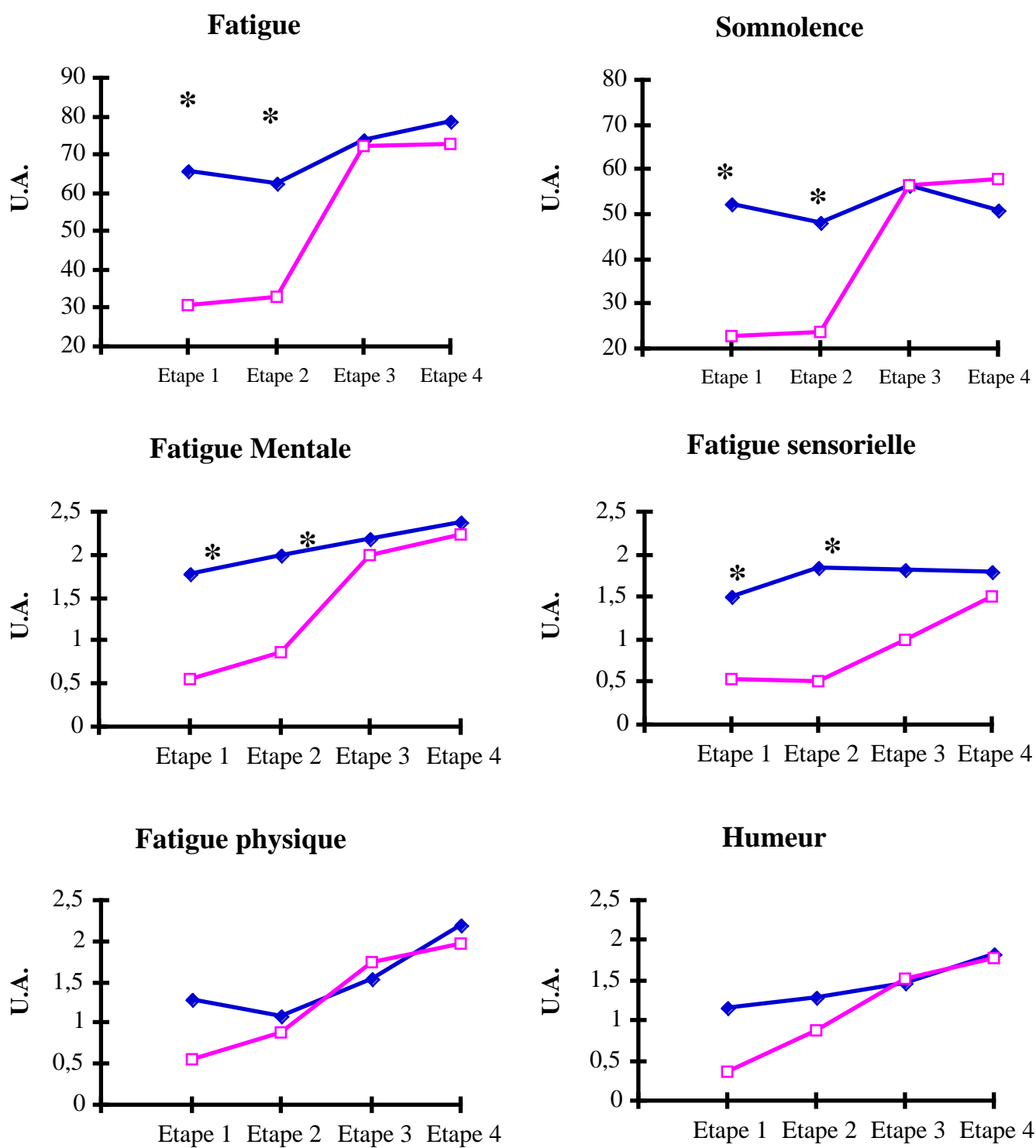
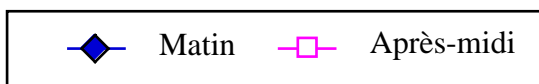


Figure n°8. Evolution de la fatigue, de la somnolence et des manifestations de la fatigue. Comparaison des vols du matin et de l'après-midi.

\* : P < 0,05



U.A. : Unités Arbitraires



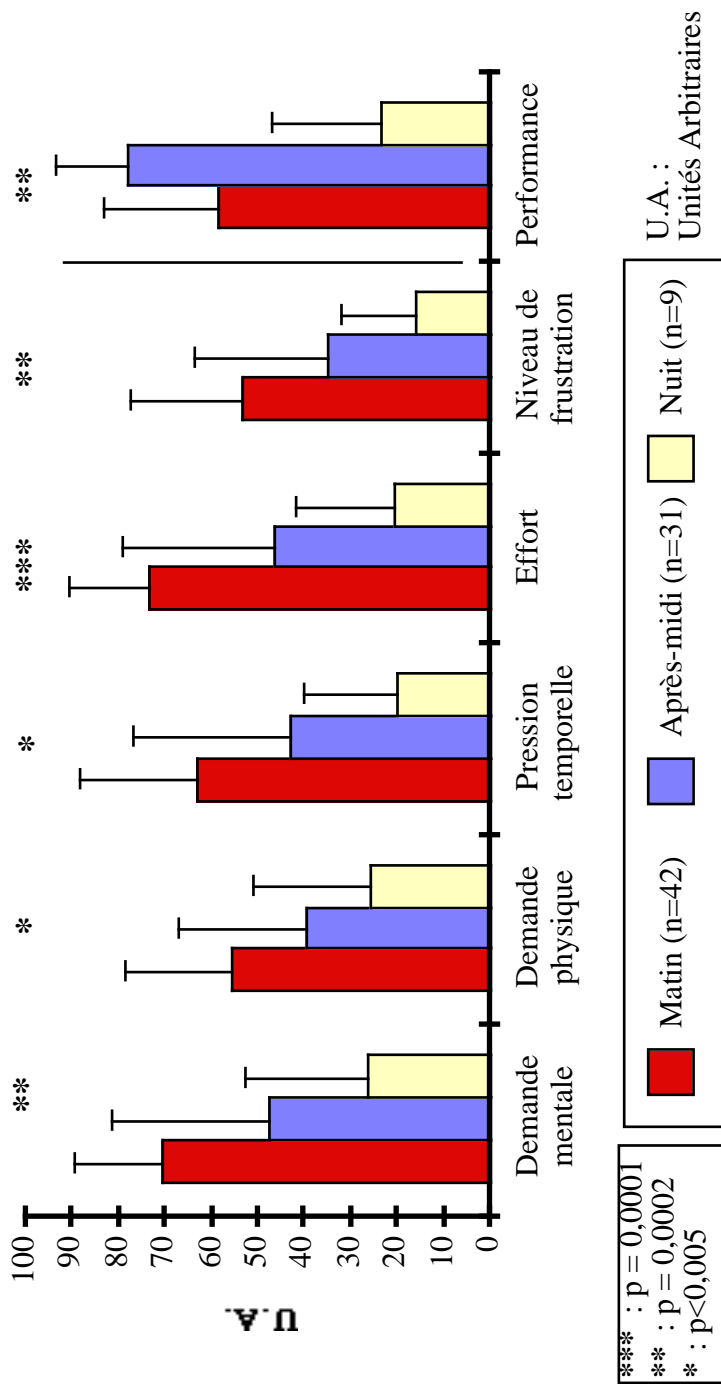


Figure n°9. Comparaison de la charge de travail (NASA TLX) au cours des vols du matin, de l'après-midi et de nuit.

La charge de travail au cours des étapes successives évolue parallèlement aux indicateurs de fatigue (figure n°10). Pour les vols du matin, la charge de travail s'avère élevée dès le premier vol, alors que pour les vols d'après-midi elle reste faible lors des deux premières étapes. A partir du troisième vol, les valeurs augmentent significativement pour atteindre un niveau équivalent à celui observé pour les vols du matin. Les scores de l'auto-évaluation de la performance évoluent parallèlement pour les deux types de vol, les valeurs demeurant supérieures pour les vols d'après-midi. Il convient également de noter que les valeurs sont les plus basses lors de la troisième étape.

Les évaluations de la charge de travail corroborent celles observées pour la fatigue et le sommeil et confirment ainsi les difficultés rencontrées par les équipages lors des vols du matin. Ils indiquent notamment que la fatigue se traduit pour eux par une augmentation leur charge de travail afin de compenser les effets négatifs de leur fatigue sur leur niveau de performance.

## 5 - RECOMMANDATIONS -

Les trois démarches complémentaires adoptées au cours de cette étude pour appréhender la fatigue en aéronautique ont permis d'obtenir des résultats complémentaires sur les **causes**, les **manifestations** et les **stratégies de lutte contre la fatigue**.

Sur le plan des **causes**, cette étude confirme et souligne l'implication du manque de sommeil dans l'apparition de la fatigue en aéronautique. Cette privation de sommeil peut être totale, comme cela peut être le cas au cours de vols de nuit ou partielle avec les vols dits « du matin ». Ces derniers, très fréquents dans les rotations court- et moyens-courriers, se révèlent particulièrement néfastes sur le plan du sommeil et de la fatigue, notamment lorsqu'ils se succèdent sur plusieurs jours. Les trois axes de l'étude confirment que la privation de sommeil associée à une charge de travail élevée est susceptible d'amplifier les phénomènes de fatigue. La fatigue liée au manque de sommeil conduit à proposer des recommandations en termes de réglementation des temps de vol et de planification des rotations. Les aspects relatifs à la charge de travail relèvent quant à eux plus de l'organisation du travail des équipages.

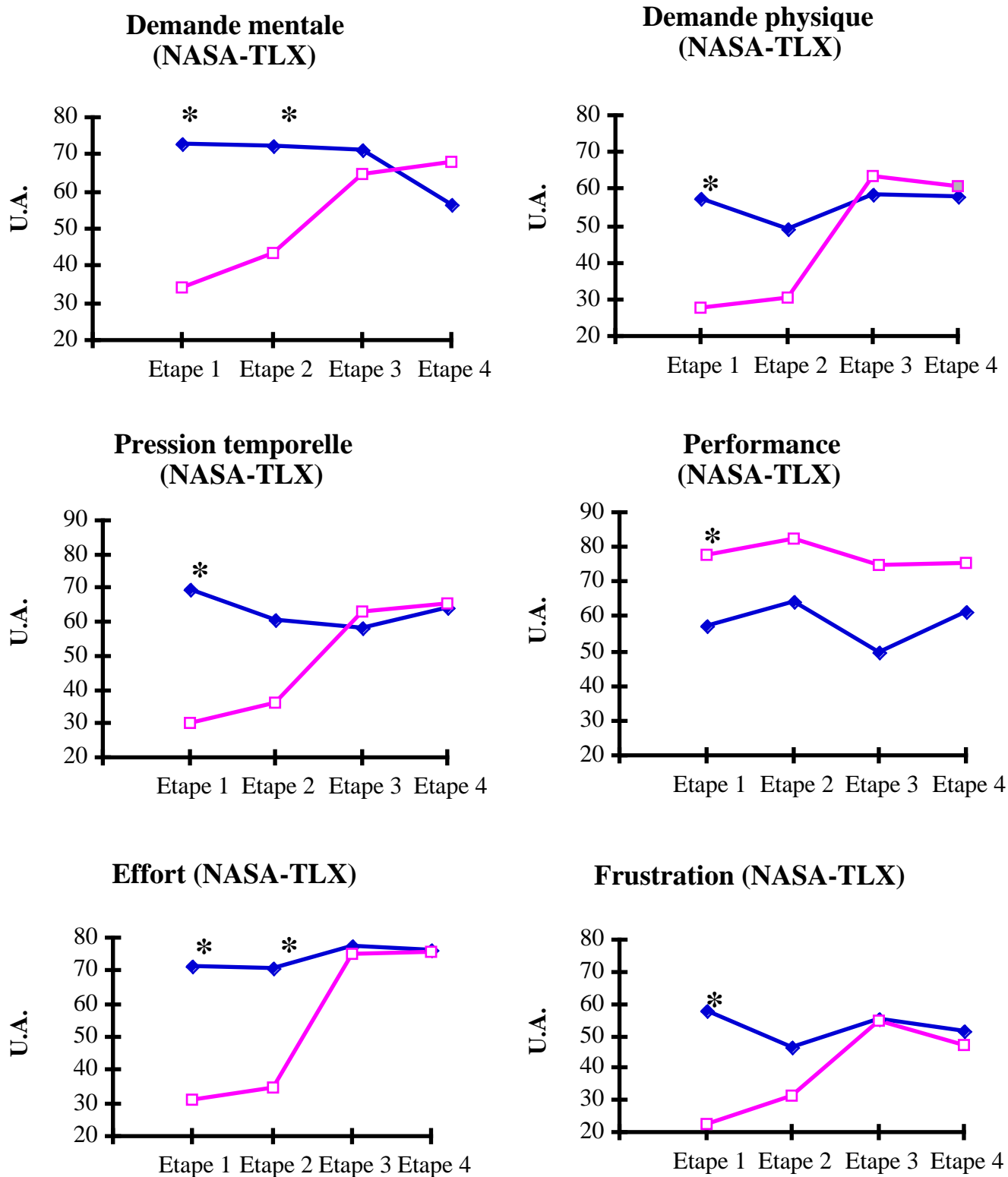
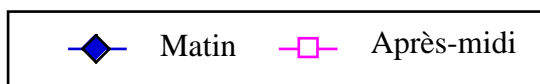


Figure n°10. Evolution de la charge de travail en fin de vols.  
 Comparaison des vols du matin et de l'après-midi.

\* : P < 0,05



U.A. : Unités arbitraires

Pour les équipages des vols court et moyens-courriers, la **fatigue se manifeste** principalement par une attention réduite, des difficultés de concentration, une sensation de somnolence et une envie irrésistible de dormir. La somnolence et la fatigue sont parfois dissociées, comme c'est le cas à la fin des vols long-courriers de nuit. Par rapport à la phase de croisière, on constate pour cette période toujours critique de fin de vol une réduction de la somnolence et une augmentation de la fatigue liée à une charge de travail élevée. Sur le plan des symptômes, les manifestations mentales et sensorielles apparaissent précocement lors d'une succession de vols alors que, celles relatives à la fatigue physique et à l'humeur sont notées, plus tardivement. Un autre résultat essentiel mis en évidence dans cette étude concerne le décalage important entre la perception de son propre état et de celui de son coéquipier. Schématiquement on se perçoit diminué du fait de la somnolence alors que le coéquipier est jugé fatigué en raison de sa perte temporaire d'habileté (petites erreurs, omissions). Ce décalage suggère des implications sur le plan de la formation des équipages.

Les **stratégies de lutte contre la fatigue** adoptées par les équipages constituent une réponse aux principales causes précédemment évoquées. Elles reposent essentiellement sur la gestion du sommeil ou sur le recours à de courtes périodes de sommeil préventives en préalable à un service.

Néanmoins, certains résultats sur les horaires de sommeil lors des rotations court- et moyens-courriers indiquent que cette gestion n'est pas toujours appropriée ce qui met l'accent sur la nécessité d'une information, voire d'une formation des équipages à la gestion du sommeil et aux rythmes biologiques.

Conformément aux objectifs de cette étude, les retombées et les recommandations qui découlent de ces principaux résultats peuvent être regroupées en trois parties :

- évolution de la réglementation sur la limitation des temps de vol et de repos des équipages,
- planification des rotations et organisation du travail,
- information et formation des équipages.

Pour certaines de ces recommandations, des éléments concrets peuvent être d'ores et déjà proposés sur la base des résultats obtenus. D'autres recommandations constituent davantage des éléments de réflexion qu'il conviendrait d'approfondir dans des études ultérieures.

## **5.1 - Evolution de la réglementation -**

La confrontation des résultats obtenus avec la réglementation française régissant actuellement la limitation des temps de vol indique que ce texte n'est pas en mesure d'assurer une prévention efficace de la fatigue des équipages, contrairement à certaines réglementations étrangères. De ce point de vue, deux éléments critiques peuvent être soulevés. Le premier a trait aux critères pris en compte pour le calcul des limitations de temps de vol. Ce temps est décompté à partir du moment où l'appareil se déplace par lui-même pour se rendre sur l'aire de décollage jusqu'au moment où il s'immobilise à la fin du vol. Cette période exclue donc les phases de préparation du vol, à la PPV et dans l'avion, les phases d'extinction des moteurs à la fin d'un vol ainsi que les escales, même très courtes au cours desquelles l'étude a bien montré que l'équipage pouvait se trouver confronté à une forte charge de travail. Le deuxième élément concerne l'absence de prise en compte des variations du fonctionnement physiologique des équipages au cours des 24 heures. Or, il est maintenant bien établi qu'un travail de nuit devra s'accompagner d'un repos supérieur à un même travail effectué de jour. Cette remarque s'applique également aux périodes de repos : une période de repos n'a pas le même impact sur la récupération selon qu'elle se déroule la nuit ou le jour compte tenu des variations circadiennes de la durée et de la qualité du sommeil. Dans la réglementation française, cette période de repos est limitée à 6 heures, quelle que soit la plage horaire.

Dans le contexte de forte concurrence que connaissent actuellement les compagnies aériennes françaises et étrangères les conduisant à se placer aux limites maximales autorisées, il apparaît indispensable que cette réglementation évolue de manière à réduire les risques sur le plan de la sécurité des vols. Il existe actuellement des données scientifiques suffisamment nombreuses pour parvenir à ces évolutions. L'examen de réglementations étrangères, telles que celles en vigueur actuellement à Singapour ou prochainement à Hong Kong montre que ces évolutions sont possibles, sans remettre en cause la productivité des Compagnies.

Le travail présenté ci-après fournit des éléments nécessaires pour proposer les bases d'un modèle prédictif de la fatigue sur lequel pourrait se fonder les évolutions de la réglementation. Ce modèle permet de prédire le niveau de fatigue en regard du nombre d'heures de service réalisées sur 7 jours.

En effet, le complément d'analyse de l'enquête par questionnaire, réalisé au cours de la phase III, a consisté à étudier la nature de la relation entre le nombre d'heures de service effectuées au cours des 7 jours précédant le renseignement du questionnaire (questions 4 et 5) et la sensation de fatigue à l'issue de cette semaine (question 6). La fatigue a été évaluée grâce à une échelle analogique : le pilote devait inscrire une marque sur une ligne horizontale de 100 mm sans repère, séparant les adjectifs en forme (0) - fatigué (100). Un score est obtenu en mesurant la position de la marque par rapport à l'adjectif correspondant à la sensation la plus négative (fatigué). Cinq niveaux de fatigue ont été établis selon le score obtenu :

- de 0 à 20 : niveau de fatigue **très faible**,
- de 20 à 40 : niveau de fatigue **faible**,
- de 41 à 60 : niveau de fatigue **moyen**,
- de 61 à 80 : niveau de fatigue **élevé**,
- de 81 à 100 : niveau de fatigue **très élevé**.

La démarche adoptée consiste à calculer des régressions en prenant comme variable dépendante la sensation de fatigue et comme variable indépendante le nombre d'heures de service réalisées les 7 derniers jours. Les équations de régression ont été calculées afin de prédire la variable dépendante (Y = fatigue) à partir de la variable indépendante (X = nombre d'heures de service).

Dans 90% des cas les PNT ayant répondu ont réalisé leurs vols court-courriers pendant le jour. Le modèle de régression simple obtenu indique une relation linéaire entre la fatigue et la durée de service, avec une corrélation positive significative :

$$Y = 0,81X + 28,56$$
$$(r = 0,48 ; p=0,0001)$$

Ainsi, pour une durée de service égale à 30 heures le niveau de fatigue des PNT calculé s'avère **moyen** (Y= 53), entre 40 et 64 heures de durée de service la fatigue se situe à un niveau **élevé**, au delà de 64 heures la fatigue elle se révèle **très élevée** (tableau 2).

Pour ce qui concerne les PNT effectuant des vols long-courriers, les durées de service déclarées comprennent dans 80% de cas des vols se situant entre minuit et 6 heures du matin. De ce fait, il a été calculé une régression multiple avec 2 variables indépendantes, la durée de service réalisée le jour (X1) et celle réalisée la nuit (X2). Le modèle général de régression indique que ces deux variables présentent des effets significatifs sur la fatigue et que la durée de service réalisée entre minuit et 6h contribue plus à expliquer la variance de la fatigue :

$$Y = 0,32X1 + 1,02X2 + 39,29$$
$$(r=0,33 ; p=0,0001)$$



Les exemples, ci-après, de calcul des scores de fatigue à partir de l'équation de régression, illustrent les résultats regroupés dans le tableau 2 :

*Exemple 1 : durée de service globale = 40 heures,*

- durée de service de jour = 34 heures (X1) ; durée de service entre minuit et 6 heures = 6 heures (X2) ; score de fatigue calculé = 56 (Y) ; niveau de fatigue **moyen**,
- X1= 22 heures ; X2 = 18 heures ; Y= 65 ; niveau de fatigue **élevé**,
- X1= 0 heures ; X2 = 40 heures ; Y= 80 ; niveau de fatigue **très élevé**.

*Exemple 2 : durée de service globale = 50 heures,*

- X1= 50 heures ; X2 = 0 heures ; Y= 55 ; niveau de fatigue **moyen**,
- X1=32 heures ; X2 = 18 heures ; Y= 68 ; niveau de fatigue **élevé**.

En d'autres termes, pour une même durée de service globale, plus la proportion des vols réalisés entre minuit et 6h est importante, plus la fatigue s'avère élevée. Par contre, lorsque la durée de service effectuée entre minuit et 6h demeure constante, l'augmentation de la durée de service de jour n'entraîne qu'un léger surcroît de la fatigue.

Ces résultats confirment qu'une même durée de service est bien évidemment plus fatigante lorsqu'elle est réalisée entre minuit et 6 heures que si elle se déroule le jour. Ceci conforte l'idée d'une modulation de la récupération en fonction du nombre d'heures de service et de la plage horaire des vols.

Par ailleurs, pour une même durée de service se situant dans la même plage horaire, la fatigue des PNT s'avère plus élevée après des vols court-courriers qu'après des vols long-courriers. Par exemple, pour une durée hebdomadaire de service de jour égale à 50 heures, les scores de fatigue calculés pour les court-courriers et les long-courriers sont respectivement de l'ordre de 69 et 55, ce qui correspond à des niveaux de fatigue **élevé** et **moyen**.

Ceci suggère que la réglementation des temps de service devrait prendre en compte la nature des vols compte tenu de la charge de travail plus élevée dans les vols court-courriers.

Ces résultats, quoique encourageants, doivent toutefois être considérés avec prudence. Ils méritent en effet d'être approfondis, validés et pondérés par un certain nombre d'éléments tels que la présence de décalages horaires, la composition des équipages, la nature des vols (instruction...), la charge de travail, la météo...



Par ailleurs les questions 4 et 5, concernant la durée de service, ne prennent pas en compte les vols qui commencent tôt le matin, les nuits courtes, le nombre d'étapes par jour, la durée des escales.

Malgré ces limitations, on peut d'ores et déjà considérer qu'il est possible de :

- prédire un niveau moyen de fatigue en fonction du nombre d'heures de service,
- recommander des durées de service hebdomadaires à ne pas dépasser lors de la planification des rotations.

Ceci présente un intérêt non seulement pour l'évolution de la réglementation des temps de service mais également comme un outil d'aide à la planification des équipages selon la nature des vols. Une autre application possible d'un tel modèle concerne l'évaluation a posteriori du niveau de fatigue de PNT impliqués dans un incident ou un accident aérien.

## **5.2 - Planification des rotations et organisation du travail -**

Au-delà des aspects réglementaires, le modèle présenté dans le chapitre précédent pourrait constituer un outil très utile pour les personnels des Compagnies chargés de planifier le travail des PNT. Tout en reconnaissant les contraintes auxquels sont soumis ces personnels, il est néanmoins frappant de constater à quel point le travail est parfois organisé, sans aucune prise en compte de la fatigue des équipages et de leur besoin en récupération. A ce titre, sur la base des résultats présentés dans ce rapport, il est possible de proposer un **classement de la pénibilité des rotations court et moyens-courriers**, de la plus élevée à la moins élevée :

- rotations matin sur plusieurs jours consécutifs,
- rotations alternées « matin » - « soirée »,
- rotations alternées « matin » - « après-midi »,
- rotations « soirée »,
- rotations « après-midi »,
- rotations « jour ».

Cette classification pourrait être prise en compte par exemple en évitant de faire succéder plusieurs rotations fatigantes et en modulant la durée des repos en fonction de la pénibilité des rotations.

L'intégration de ces différences de pénibilité devrait également conduire les Compagnies à **observer les règles suivantes** :

- pas plus de 2 rotations consécutives du matin,
- éviter les « nuits courtes » en plaçant un jour de repos entre la rotation « soir » et la rotation « matin »,
- réduire le nombre d'étapes dans les rotations les plus pénibles,
- ne pas dépasser 3 étapes.

Pour qu'elles s'avèrent efficaces, ces recommandations doivent s'accompagner également d'évolutions en matière d'organisation du travail. En particulier, le caractère **répétitif et monotone** du travail en court- et moyen-courrier doit être pris en compte pour éviter de développer l'ennui et la lassitude des équipages contribuant fortement à réduire leur motivation et leur vigilance. Il est donc nécessaire, chaque fois que cela s'avère possible de diversifier au maximum, à l'échelle de la journée et de la semaine, les destinations des vols sur lesquels se trouve affecté un équipage. Un autre élément critique, caractéristique des rotations court-courriers, concerne les **temps d'escale extrêmement courts, de l'ordre de 35 minutes**, auxquels doivent faire face les équipages. Compte tenu de la pression temporelle liée à l'augmentation du trafic aérien, ces temps d'escales doivent à tout prix être évités car ils ne prennent en compte ni la gestion d'événements imprévus, ni la nécessité pour l'équipage de bénéficier d'une pause. Il convient d'ailleurs de noter que la durée minimale de ces temps d'escale n'est pas réglementée dans les textes actuellement en vigueur.

Enfin, même si cette observation demeure plus ponctuelle et liée à un type d'avion, il conviendrait de respecter une certaine homogénéité dans la conception des interfaces avec lesquelles les équipages sont amenés à travailler. En effet, compte tenu des répercussions de la fatigue sur les aptitudes cognitives, le passage d'une interface à l'autre au cours d'une même journée peut contribuer à accroître les risques d'erreurs.

### **5.3 - Information et formation des équipages -**

L'accueil très favorable des PNT long-courriers au guide de recommandations édité par la DGAC et le LAA confirme la forte demande des PNT vis-à-vis d'une information pratique sur les thèmes associés à la fatigue. Cette information pourrait donc être à présent complétée pour les équipages court- et moyens-courriers. Des recommandations pratiques associées à une gestion spécifique du sommeil en fonction des horaires de travail et à l'hygiène de vie pourraient être envisagées pour atténuer les effets des privations de sommeil.

Sur le plan de la formation, l'enquête par questionnaire indique que les pilotes identifient les signes tardifs de la fatigue liés à l'envie irrésistible de dormir. A l'inverse, ils ne reconnaissent pas pour eux-mêmes l'impact de la fatigue sur la qualité d'exécution des tâches de pilotage alors qu'ils en sont conscients pour ce qui concerne leurs coéquipiers. Il convient toutefois de noter que de nombreux pilotes ne savent pas identifier de manière précise les signes de la fatigue chez leur coéquipier.

La richesse des informations collectées dans cette étude peut donc être mise à profit comme support à la formation des PNT pour les aider à identifier les signes précurseurs de la fatigue pour eux-mêmes et pour leurs coéquipiers et ainsi mieux prévenir ses effets sur la performance et la sécurité des vols.

## **6 - CONCLUSION - PERSPECTIVES -**

Cette étude apporte une contribution originale à la compréhension des mécanismes générant la fatigue en aéronautique et sur ses principales manifestations. Les suggestions pratiques qui en découlent concernent les réglementations, la planification des services et la formation des équipages.

Une validation des différents acquis de ce travail sur un échantillon plus représentatif paraît toutefois nécessaire afin d'envisager une généralisation des résultats. Ceci peut être réalisé selon deux approches complémentaires.

La première concerne la validation du modèle prédictif de la fatigue. En effet, si on souhaite utiliser ce modèle pour faire évoluer les réglementations actuelles ou pour assister les compagnies dans l'optimisation de la planification du travail des équipages, on doit le conforter et probablement l'ajuster par un plus grand nombre de données. Cette phase, menée actuellement en collaboration avec AIRBUS INDUSTRIE qui diffuse le questionnaire d'enquête auprès de plusieurs compagnies étrangères, doit permettre d'intégrer des différences culturelles et organisationnelles. Cependant, une validation de ces données recueillies en dehors du contexte d'un vol paraît nécessaire, notamment en les confrontant à des données recueillies en vol.

La seconde approche vise à approfondir la relation entre fatigue et comportements à risque. La présente étude a permis de vérifier l'impact de la fatigue sur les performances mentales dans un contexte aéronautique. Il reste toutefois de nombreuses questions à résoudre, portant en particulier sur les modifications comportementales qui en découlent et sur leur caractérisation.

Cette phase devrait être conduite en simulateur puis en vol réel. Elle contribuerait au développement de méthodes de détection de la fatigue au cours des vols et constituerait un moyen de prévention solide de la fatigue et de ses conséquences sur un plan opérationnel.

Au-delà des résultats obtenus et de leurs prolongements possibles, il convient d'envisager dans des délais raisonnables une modification de la réglementation des limitations de temps de service actuellement en vigueur en France. Ce texte, dans lequel il n'est jamais fait mention du mot « fatigue » doit évoluer en intégrant les données physiologiques et comportementales actuellement disponibles sur ce thème. On pourrait prendre pour modèle la réglementation adoptée par Hong Kong, qui sur la première page du texte officiel fait apparaître la mention suivante : « The avoidance of Fatigue ».

\* \* \*