

F. TÉKAÏA

J.-P. FOUILLOT

T. DROZDOWSKI

J. RÉGNARD

J. J. SPEYER

M. RIEU

Incidence des contraintes psychiques et intellectuelles sur la fréquence cardiaque

Les cahiers de l'analyse des données, tome 6, n° 2 (1981), p. 175-185

http://www.numdam.org/item?id=CAD_1981__6_2_175_0

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1981, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

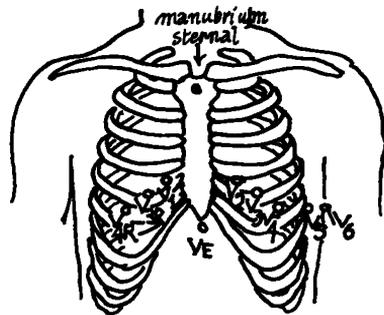
INCIDENCE DES CONTRAINTES PSYCHIQUES ET INTELLECTUELLES SUR LA FRÉQUENCE CARDIAQUE [FRÉQ. CARD.]

par F. Tékaiä (1), J.-P. Fouillot (2),
T. Drozdowski (2), J. Régnard (2),
J. J. Speyer (3), M. Rieu (2)

En ergonomie, en médecine du sport, il convient de caractériser objectivement la réponse de l'homme à l'effort, tant pour apprécier la difficulté des tâches que pour reconnaître les réactions individuelles des sujets. Parmi les réponses physiologiques, il est naturel de considérer l'activité cardiaque et en particulier la fréquence qui apporte une information globale concernant à la fois la dépense d'énergie et l'état de tension d'un sujet soumis aux contraintes d'une situation de travail donnée. Dans cet article, nous présentons quelques résultats concernant la fréquence cardiaque, paramètre qu'il est possible de recueillir pendant une longue durée, sans gêner l'activité des sujets étudiés.

1 Les données analysées

1.1 L'enregistrement : Nous utilisons un enregistreur magnétique dont les dimensions sont : 112 mm x 46 mm x 36 mm, et qui pèse, pile et cassette comprises, 440 gr. L'appareil a 4 canaux, dont 2 seulement sont utilisés dans la présente expérience ; la bande défile à 2 mm/s. Pour mesurer la fréquence cardiaque on a choisi d'enregistrer sur un canal, l'électrocardiogramme (ECG), i.e. la tension entre deux électrodes fixées sur la peau du sujet selon une dérivation CM5 (dérivation orientée approximativement suivant le grand axe du cœur : une électrode étant placée au niveau du manubrium sternal (partie supérieure du sternum) l'autre au bord gauche de la cage thoracique, au niveau de la 6^{ème} côte - en V6).



Position des électrodes sur le thorax

-
- (1) Docteur 3^o cycle. Laboratoire de statistique. Université P. et M. Curie.
(2) Laboratoire de physiologie. Faculté de médecine. Cochin-Port Royal
24, rue du Faubourg St Jacques 75014 Paris.
(3) Airbus Industrie . Toulouse.

Simultanément, on enregistre sur une autre voie un signal de fréquence 60 Hz produit par une horloge à quartz; sur ce même canal est enregistré un repère temporel, introduit par un observateur à l'aide d'un bouton, du début de l'enregistrement de l'E.C.G. L'observateur aidé d'un chronomètre tient à jour un fichier d'événements, qui constitue un découpage de l'activité du sujet en une suite de segments temporels ou *séquences* dont chacune constitue une étape déterminée de son activité, désignée par un code convenable préétabli.

1.2 La lecture : L'ordinateur (PDP8) lit le fichier événement, puis la bande magnétique. Sans entrer dans le détail, disons que l'électrocardiogramme se compose d'une suite de courbes correspondant chacune à un cycle cardiaque, et formée de segments successifs désignés conventionnellement par les lettres PQRS T : en particulier le complexe

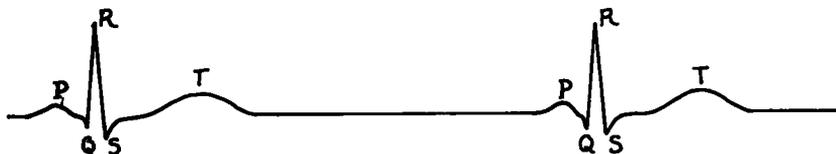


Schéma : deux ondes R successives .

QRS correspond à la contraction (systole) ventriculaire et comporte une pointe R facile à détecter. L'ordinateur reconnaît les pointes des ondes R successives ; et mesure les intervalles de temps qui les séparent.

Notre but n'est pas de conserver toutes ces données ; mais de constituer des fichiers dont la simple consultation soit intéressante et qui se prêtent à l'analyse statistique multidimensionnelle. Les données lues sont donc découpées selon les séquences successives spécifiées dans le fichier événement. Et pour chaque séquence on a les informations suivantes :

A Identification de la séquence par son code ; avec heure réelle du début de la séquence, heure relative au début de l'ensemble de l'observation, et durée de la séquence.

B Courbe de la FC (fréquence cardiaque) calculée (e.g.) de 5 en 5 secondes (comme l'inverse de la durée moyenne des intervalles RR entrant dans cette période de 5 secondes).

C Histogramme des intervalles RR : plus précisément cet histogramme est présenté suivant 24 classes de FC (de 10 à 240 battements/mn) et donne, dans chaque classe, le nombre des complexes QRS détectés, soit une estimation du temps pendant lequel le sujet s'y est tenu.

En vue de la définition D, nous notons $RR(t)$ l'intervalle de temps séparant la t^e onde R de celle qui la suit immédiatement.

D Histogramme $RR(t)-RR(t-1)$: i.e. donnant le nombre de complexes QRS pour lesquels la différence entre l'intervalle RR suivant et le précédent est comprise dans une classe de durée déterminée. Cet histogramme permet d'apprécier, sur une petite échelle de temps, la stabilité de la fréquence cardiaque : nous n'en dirons rien de plus dans cet article.

1.3 La présente étude : L'évolution technologique des avions de transport permet de prévoir une modification de la charge de travail des aviateurs. Il est opportun d'évaluer l'importance des contraintes que subit chacun des membres de l'équipage au cours des différentes phases de vol et selon la configuration du poste de pilotage. La présente étude concerne la fréquence cardiaque des membres de l'équipage d'un avion de transport A300B au cours de 8 enregistrements de vols simulés et un enregistrement d'un vol réel. Cette étude a été effectuée avec la collaboration d'Airbus Industrie tant sur le simulateur A300B d'Aéroformation que lors d'un vol réel Toulouse-Hambourg et retour. Chaque étape comprenait trois navigants, commandant de bord, copilote, mécanicien, tous pilotes ou ingénieurs d'essais d'Airbus Industrie (nous les avons désignés dans la suite par les sigles conventionnels propres à leur fonction : CM1, CM2, CM3). L'intérêt des vols simulés, est qu'ils permettent d'introduire des incidents de vol dans des conditions assez réalistes, pourvu qu'on conçoive le scénario avec assez de souplesse, pour que l'équipage se laisse prendre au jeu. Se trouvent donc dans le simulateur, avec les membres de l'équipage, un instructeur qui programme les incidents de vol ; et un observateur, lequel, assisté d'un chronométrateur, assume la création du fichier événement : c'est-à-dire les durées et l'identification des incidents et les phases du vol par un code à 4 chiffres conçu comme suit :

1° chiffre distingue le vol, la manoeuvre, l'incident et précise pour ce dernier le début, l'augmentation ou la fin.

2° et 3° chiffres identifient exactement la panne ou la manoeuvre.

4° chiffre indique l'étape du vol : décollage, ascension, croisière, descente, approche et atterrissage.

Ces codes sont difficilement utilisables dans ce texte; nous les avons remplacés par des codes plus faciles à comprendre. Ainsi après avoir écrit en clair le type de panne on notera l'étape du vol par : DEC pour décollage, CR pour croisière etc.

2 Les analyses effectuées

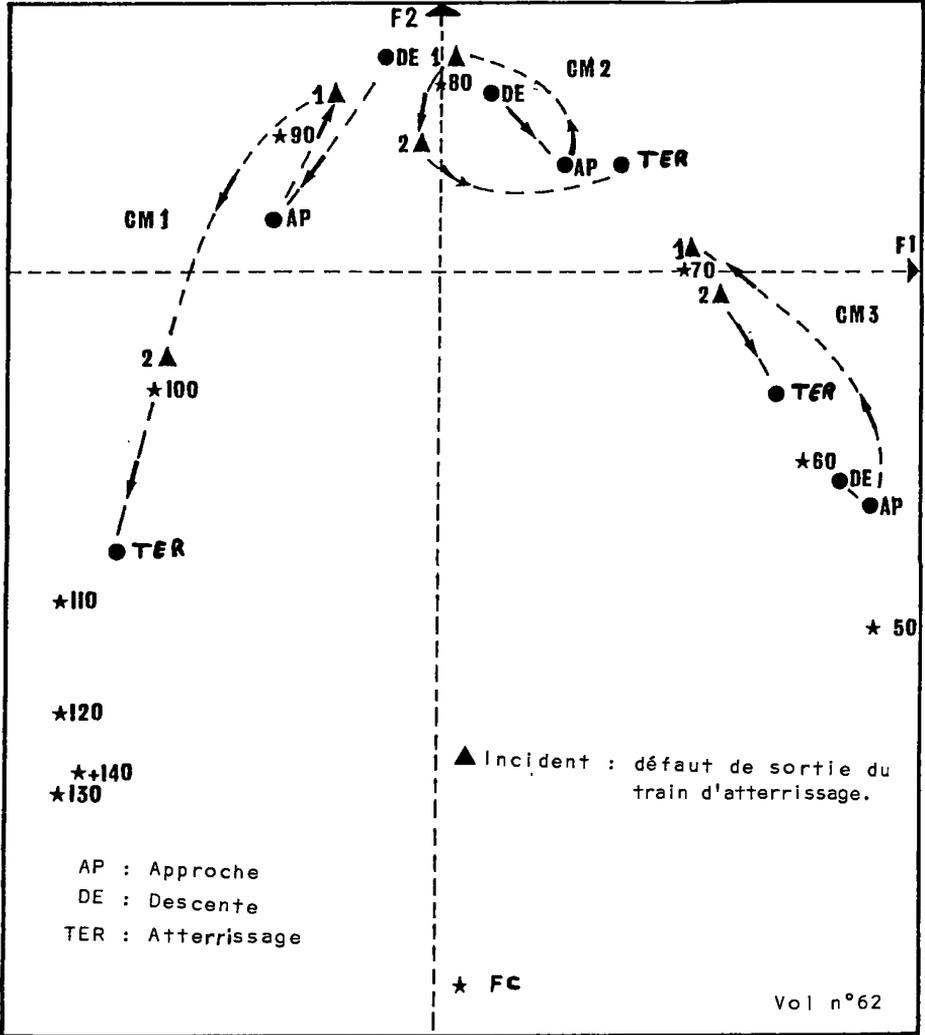
2.1 Construction de tableaux de correspondance : Tous les tableaux que nous avons analysés sont du même type. L'ensemble J des colonnes est un ensemble de classes de fréquences cardiaques : généralement on ne conserve pas l'ensemble des 24 classes suivant lesquelles sont reportées les données initiales (cf. § 1.2.C) mais on cumule les classes de poids très faible : par exemple dans l'analyse rapportée au § 2.2 on a distingué dix classes : ≤ 59 (noté 50) ; de 60 à 69 (noté 60) de 70 à 79 (noté 70) ; de 130 à 139 (noté 130) et enfin ≥ 140 (noté 140). Chaque ligne de l'ensemble I représente un histogramme ; qui peut être soit l'histogramme associé à une séquence (cf. § 1.2.C) ; soit plutôt le cumul des histogrammes associés à une classe de séquences définie suivant les critères les plus divers : en fonction du sujet ; rôle du sujet ; nature de l'étape ou de l'incident etc. . Le tableau peut comporter uniquement des informations relatives à l'activité d'un seul sujet au cours d'un vol déterminé (cf. § 2.3) ou au contraire (§ 2.2) rassembler l'ensemble des séquences afférentes à tous les rôles dans plusieurs vols simulés ou réels.

Il est évidemment possible de choisir diversement les lignes considérées comme éléments principaux, et celles qui figurent en éléments supplémentaires. A la vérité ce choix n'a pas de grandes conséquences sur l'analyse. En effet les résultats se présentent toujours à peu près sous la même forme. Les deux premiers axes cumulent un fort pourcentage d'inertie ; dans le plan 1×2 , l'ensemble J des classes de fréquences s'ordonne sur une courbe d'allure parabolique selon l'effet Guttman classique (seules peuvent faire exception les classes de fréquences extrêmes, légères et instables, qu'il convient alors d'ajouter aux classes chargées les plus proches). Relativement à cette courbe, tous les points principaux ou supplémentaires figurant les diverses lignes se placent en fonction du principe barycentrique. Il faut se garder de représenter sur un seul graphique un ensemble I trop dense d'effectif élevé : l'intérêt est au contraire de suivre sur divers sous-graphiques la variation du spot correspondant à divers rôles, à une suite d'étapes etc. . Nous avons donc écrit un programme permettant de produire de tels sous-graphiques selon tous les critères qui nous ont intéressés. Le mérite de l'analyse factorielle est ici d'offrir une vision synthétique des histogrammes de fréquence, sans doute plus riche et surtout plus lisible que les courbes de variation de la fréquence cardiaque moyenne utilisées communément par les médecins ; et plus encore de suggérer de créer toutes sortes d'individus nouveaux i.e. des histogrammes associés à tous les caractères, à toutes les situations qui intéressent le physiologiste ; ce qui va de soi pour un spécialiste d'analyse des correspondances, mais n'est pas fait d'ordinaire.

2.2 Analyse globale des séquences de vols simulés, et incidents particuliers : Sur les 8 vols simulés, et pour l'ensemble des membres d'équipage on a enregistré 1916 séquences d'activité. Pour analyser tel quel le tableau (1916×10) des histogrammes de FC afférents à toutes ces séquences, il aurait fallu écrire un programme fragmenté spécialement adapté à la faible capacité de mémoire de l'ordinateur PDP8 sur lequel nous travaillons. On s'est contenté de condenser un peu le tableau de données, en créant 462 lignes par cumul des classes de séquences analogues. A ce tableau de 462 lignes on a ensuite adjoint 20 lignes correspondant chacune à un rôle au cours d'un vol déterminé (de façon précise sur les 8 vols simulés enregistrés il y a 8 rôles CM1, 7 rôles CM2 et 5 rôles CM3) ; on a encore créé trois lignes correspondant aux trois fonctions de CM1, CM2, CM3. Seules les 462 premières lignes ont été traitées en éléments principaux, les autres étant mises en éléments supplémentaires. A la vérité nous ne donnons ces détails que par souci d'être complet car ainsi qu'on l'a expliqué au § 2.1, il importe seulement d'avoir pour tableau principal un ensemble d'histogrammes suffisant pour obtenir un bel étalement en parabole de l'ensemble J des classes de fréquences ; les lignes principales ou supplémentaires se placent alors de façon satisfaisante. C'est bien ce qu'on obtient ici ; avec sur les premiers axes des taux d'inertie satisfaisants :

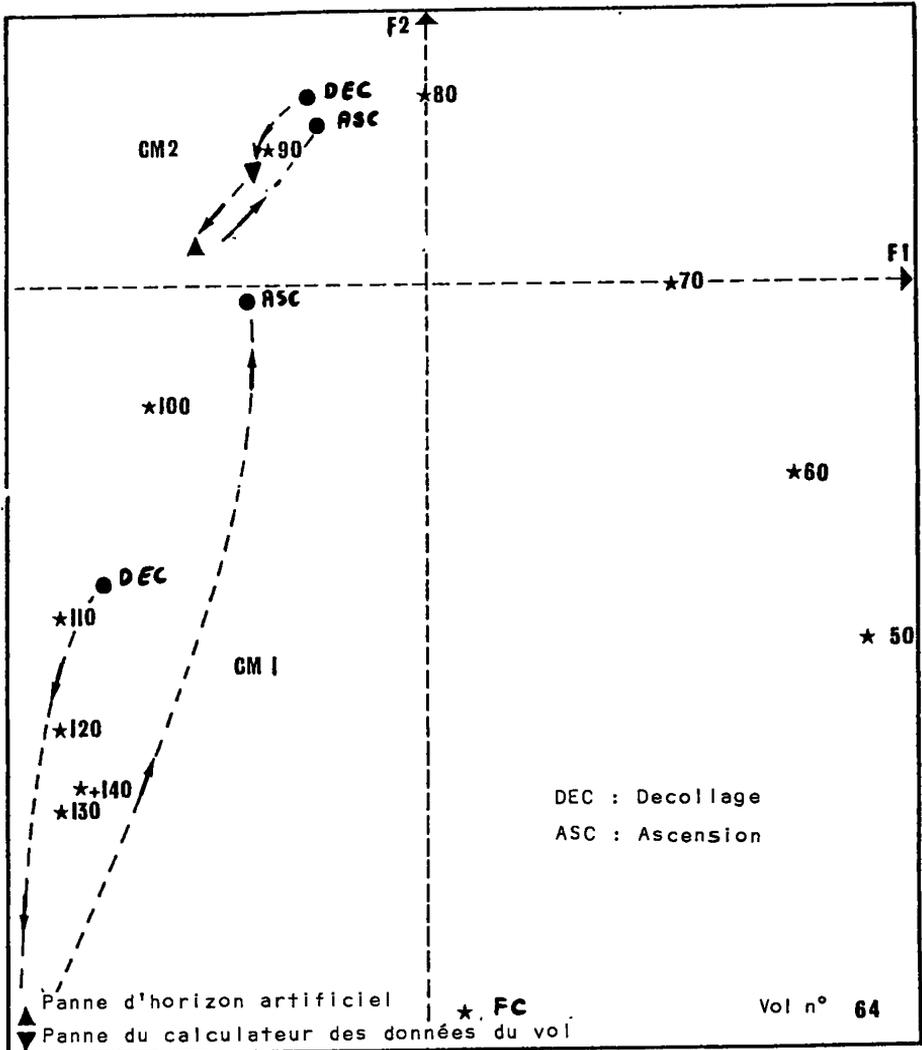
| rang | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|------|------|------|-----|-----|
| λ | 0.74 | 0.46 | 0.22 | .16 | .12 |
| τ | 39% | 24% | 12% | 8% | 6% |

Comme nous l'avons annoncé l'analyse permet de suivre les répercussions sur la fréquence cardiaque des divers incidents programmés par l'expérimentateur. Nous en donnons donc une série d'exemples illustrés. Sur toutes les figures, les classes de fréquence cardiaque sont marquées par des étoiles pleines ; les points figurant les séquences afférentes à un même membre d'équipage sont reliés par des flèches qui permettent de suivre le sens de la variation de la FC au cours de la phase de simulation considérée ; lorsque l'incident est figuré par un triangle plein, son début et sa fin sont respectivement indiqués par les chiffres 1 et 2 placés à côté du triangle.



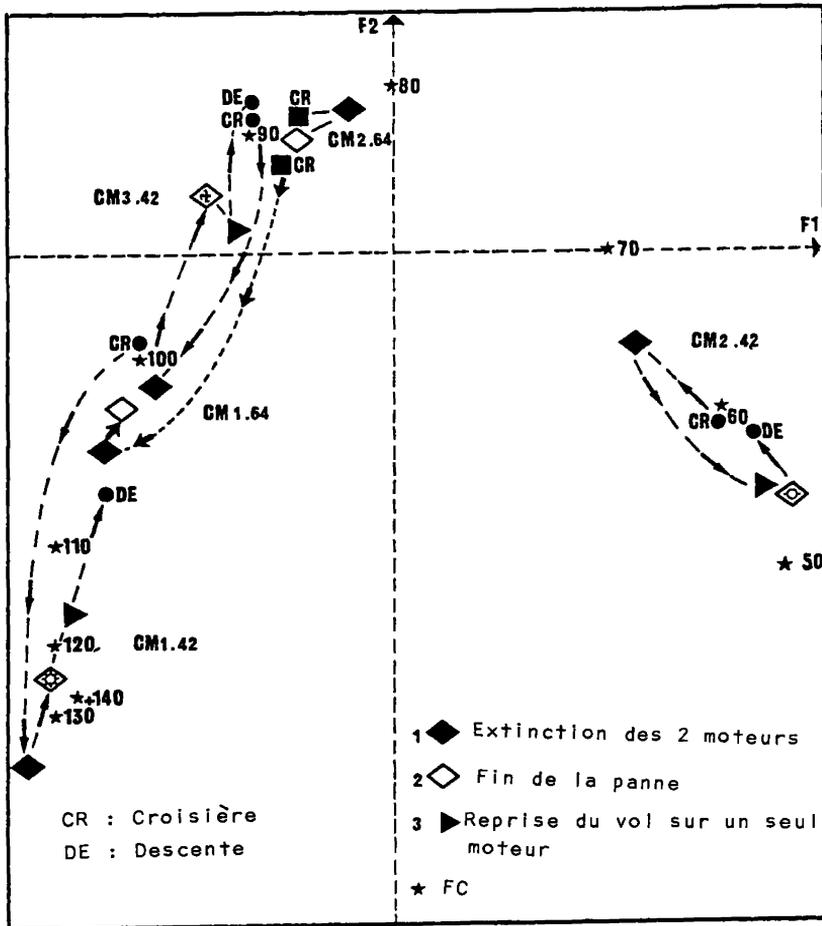
2.2.2 Incident : Défaut de sortie du train d'atterrissage.

La fréquence cardiaque du CM1 (pilote) augmente depuis la phase de descente jusqu'à la phase d'atterrissage. L'incident s'inscrit dans cette évolution où les contraintes dues à l'approche et à l'atterrissage prédominent. L'incident correspond pour le CM2, non concerné par cet événement, à une classe de fréquence cardiaque très proche des phases de descente (DE), approche (AP) et atterrissage (TER). Par contre pour le CM3 qui doit abaisser le train d'atterrissage manuellement, l'incident correspond à une classe de fréquence cardiaque plus élevée que dans les phases de vol de référence précitées.



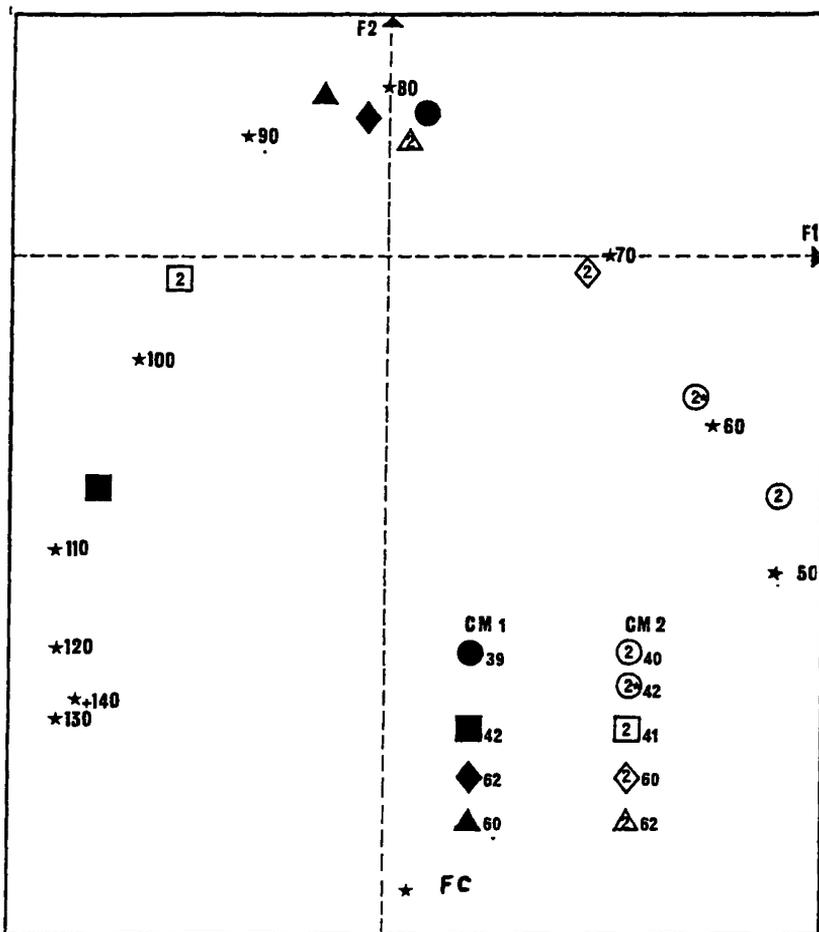
2.2.3 Panne d'horizon artificiel et du calculateur des données du vol.

Cette panne des instruments de pilotage automatique se produit pendant le décollage (DEC) du vol n° 64. La panne concerne surtout le CM1 et ensuite le CM2. On constate une nette augmentation de la FC du CM1 au début de la panne ; puis une baisse de la FC après avoir maîtrisé la panne. Chez le CM2 on constate seulement une tendance à l'augmentation de la FC.



2.2.4 Panne : Extinction des 2 moteurs (vol n° 64 et vol n° 42) suivie de vol sur un seul moteur (vol n° 42).

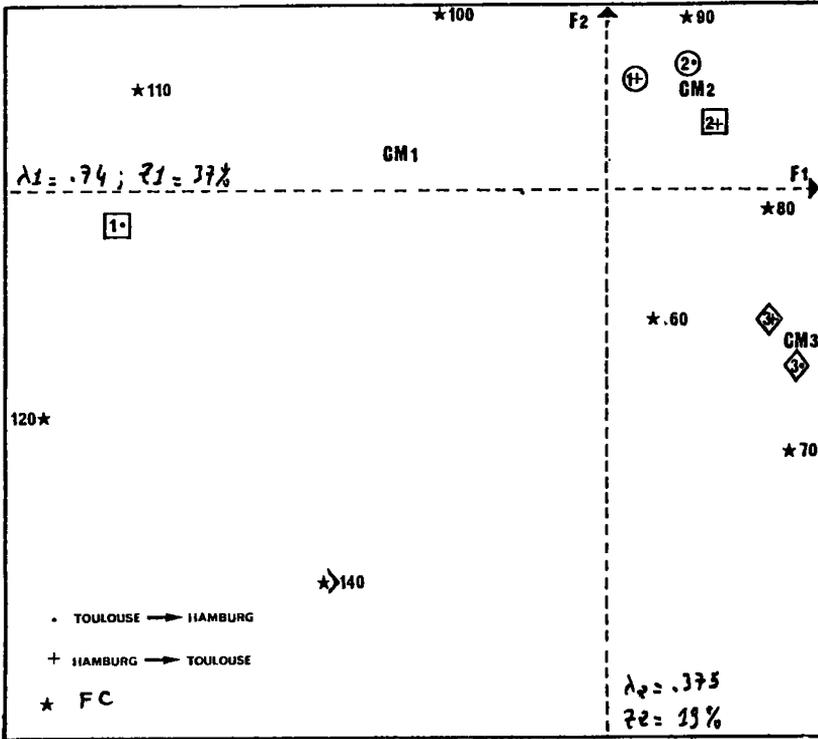
Elle intervient pendant le vol de croisière (CR). Pour l'équipage du vol n° 42 on constate que c'est surtout le CM1 et le CM3 qui augmentent leurs FC pendant la panne, le CM2 a seulement une tendance à l'augmentation. Le vol n° 42 se poursuit sur un seul moteur jusqu'à la descente. Pour l'équipage du vol n° 64 seul le CM1 augmente sa FC pendant la panne.



2.2.5 Variation de la FC selon la fonction du membre de l'équipage.

Ce graphe concerne quatre pilotes qui au cours de six vols ont rempli chacun soit la fonction de CM1 (pilote) soit celle de CM2 (co-pilote). Chaque symbole représente l'histogramme des FC d'un sujet au cours d'un vol : la forme du symbole (cercle, carré, losange ou triangle) désigne l'individu (aviateur) ; les symboles pleins (noir) étant réservés au rôle de CM1 ; la légende permet de retrouver le n° du vol.

On constate que les points représentant la fonction CM1 se trouvent du côté des FC élevés ; alors que dès que l'individu prend la fonction CM2 apparaît une tendance à la diminution de la FC (tendance toutefois faible pour l'individu "triangle").



2.3 Analyse globale du vol réel Toulouse-Hambourg, aller et retour.

Le tableau analysé a été constitué comme au § 2.2. A la différence des vols simulés, le vol réel n'a été marqué d'aucun incident, mais puisqu'entre l'aller et le retour le CM1 et le CM2 ont changé leurs rôles, il est intéressant de voir l'incidence du rôle sur la FC.

Comme au § 2.2 le plan 1 x 2 offre une représentation parabolique de l'ensemble J (classes de FC) avec des taux d'inertie élevés. Toutefois les classes de fréquence extrêmes se placent à l'intérieur de la parabole ; ce qui s'explique par leur faible poids.

Comme au § 2.2 on affecte à chaque sujet un symbole de forme déterminée ; carré, cercle ou losange. Un point dans le symbole désigne le vol d'aller, un signe + le retour. Enfin le rôle (CM1, CM2, CM3) est indiqué par un chiffre. On constate que le sujet □ a une FC nettement plus élevée dans le rôle 1 que dans le rôle 2. Le sujet O montre une variation de même sens mais très faible ; le sujet ◇ , mécanicien à l'aller comme au retour semble stable.

Conclusion : Cette étude révèle que la fréquence cardiaque est un paramètre physiologique sensible aux contraintes représentées par certaines séquences de vol, certains types d'incidents de vol et par la fonction de l'aviateur au sein de l'équipage, commandant de bord, copilote ou ingénieur navigant.

L'analyse factorielle offre une vision synthétique des séquences d'activités et des classes de fréquences cardiaques plus lisibles que

les courbes de variation de fréquence cardiaque moyenne utilisées jusqu'à présent. Elle suggère en outre de créer des histogrammes associés à des situations et des activités qui intéressent le physiologiste ce qui n'était pas habituellement possible.

La méthode dite de monitoring ambulateur de la FC que nous avons développée est caractérisée d'une part par l'enregistrement, peu encombrant, de la FC au cours des situations habituelles au sujet, d'autre part par l'étude des histogrammes des intervalles RR au lieu des moyennes de fréquence cardiaque.

Dans la suite de cette étude, nous projetons d'étudier d'autres paramètres (fréquence respiratoire et volume ventilé, consommation d'oxygène, électro-encéphalogramme) afin de mieux évaluer les contraintes exercées par les différentes charges de travail et de contribuer à leur optimisation.

BIBLIOGRAPHIE

T. Drozdowski : Programme [MONA. FC] de traitement du monitoring ambulateur de la fréquence cardiaque à partir de l'ECG. Laboratoire de Physiologie UER Cochin-Port Royal. 1979.

J.P. Fouillot, M. Rieu, A. Duvallat, J. Devars, J.P. Coquerez, J. Klepping : Automatic analysis of electrocardiogram long term recording during training and daily activity events. "SPORTS CARDIOLOGY" International conference Rome 1978. p. 231.

F. Holter : New method of heart study, continuous electrocardiography of active subjects over long periods is now practical. Science 134, 1961, p. 1214.

H.P. Ruffel Smith : A simulation study of the interaction of pilot workload with errors vigilance and decisions. NASA. Technical Memorandum 78472.

F. Tékaïa : Programme BENTAB d'analyse factorielle des correspondances. Version PDP8. 1976.

F. Tékaïa : (SOUS-GRAPHE). Programme d'édition d'un sous-graphe vérifiant des contraintes à partir d'un graphe construit par l'AF C. 1980.

B. Vettes, J. Demané, R. Auffret : Etude de la variabilité du rythme cardiaque au cours d'une tâche de pilotage sur hélicoptère. Revue de Médecine Aéronautique et Spatiale 14-1975. p. 150.