

Stress, charge cognitive et signal de parole : étude exploratoire auprès de pilotes de chasse.

L. Stavaux¹, M. Albart¹, V. Delvaux^{1,2}, K. Huet¹, M. Piccaluga¹ et B. Harmegnies¹

(1) Institut de Recherche en Sciences et Technologies du Langage, Service de Métrologie et Sciences du Langage, Université de Mons, Belgique

(2) Fond National de la Recherche Scientifique, Belgique

luc.stavaux@umons.ac.be

RÉSUMÉ

Cet article traite des effets de la charge cognitive sur la fréquence fondamentale de pilotes de F-16 placés dans un scénario de vol de nuit. La charge cognitive a été estimée à l'aide de paramètres liés à la tâche (hétéro-évaluation), à l'individu (anxiété, auto-évaluation du stress ressenti) et à la situation (simulation contrôlée). Nos résultats montrent que l'écart mélodique est un bon candidat pour évaluer le niveau de la charge cognitive, même si la relation entre eux présente des profils individuels spécifiques. La création d'une typologie des situations de communication, l'adjonction d'autres indices acoustiques et le croisement avec des données physiologiques constituent les perspectives de cette étude.

ABSTRACT

Stress, cognitive load and speech signal : an exploratory study among fighter pilots.

This article discusses the effects of cognitive load on the pitch of F-16 pilots placed in a night flight scenario. Cognitive load was estimated using parameters related to the task (external evaluation), the individual (anxiety, perceived stress) and the situation (controlled simulation). Our results show that melodic distance is a good candidate to assess the level of cognitive load, even if the relation between them exhibits specific individual profiles. The prospects of this study are : the creation of a typology of communicative situations, the addition of other acoustic cues and the cross-validation with physiological data.

MOTS-CLÉS : charge cognitive, fréquence fondamentale, écart mélodique, stress, aéronautique.

KEYWORDS: cognitive load, pitch, melodic variation, stress, aeronautics.

1 Introduction

L'étude présentée ici a été réalisée dans le cadre du projet BIOVOC¹, dont l'objectif est d'étudier les effets, sur le sujet aux commandes d'un système complexe, du stress, de la fatigue et de la surcharge cognitive. Les variations de l'état du sujet y sont suscitées via la manipulation de variables

1. Action de Recherche Concertée "BIOVOC : impacts vocaux et métaboliques, sur le sujet aux commandes d'un système complexe, de variations situationnelles susceptibles d'agir sur son état.", collaboration entre les laboratoires d'Analyses Pharmaceutiques (B. Blankert), de Biologie humaine et Toxicologie (J.-M. Colet) et de Phonétique (B. Harmegnies) de l'Université de Mons

situationnelles (p.ex. en simulateur de vol), et objectivées de façon croisée par analyse de biomarqueurs (fréquence cardiaque, cortisol salivaire, signatures métaboliques, etc.) et analyse des productions de parole.

Le signal de parole est porteur de multiples informations extra-linguistiques, ayant trait notamment à des composantes stables de l'identité du locuteur (origine régionale, âge, genre, etc.) ainsi qu'à ses composantes évolutives (états physique, cognitif, émotionnel).

Le milieu aéronautique constitue un précieux contexte d'étude de ces phénomènes. En effet, les pilotes d'aéronef sont engagés dans une tâche éminemment complexe, impliquant de nombreux échanges verbaux d'information, et susceptible d'affecter largement leur état (fatigue physique, surcharge cognitive, stress, etc.). En retour, l'état du pilote est en partie constitutif de ces "facteurs humains" à même d'affecter lourdement le déroulement d'un vol, d'où l'intérêt de l'industrie aéronautique et des autorités de contrôle pour le développement d'instruments de détection, en particulier du stress et de la fatigue engendrés par une charge cognitive importante, à partir des signaux de parole enregistrés dans le cockpit (Cockpit Voice Recordings, CVR ci-dessous).

Le projet BIOVOC s'inscrit dans une longue tradition, au sein de notre laboratoire, de recherches centrées sur les relations entre variables psychologiques et signal de parole (Harmegnies & Landercy, 1992; Ruiz *et al.*, 1996; Piccaluga *et al.*, 2007). Ainsi, dans une étude pionnière menée sur de la parole francophone, Ruiz *et al.* (1996) ont comparé les effets du stress en situation réelle - en l'occurrence à partir d'enregistrements CVR recueillis lors d'un accident d'avion - avec les effets du "stress cognitif" (au sens défini par Harmegnies & Landercy, 1992) induit en laboratoire. Leurs analyses ont démontré que la fréquence fondamentale (F0) était globalement le paramètre le mieux à même de distinguer les différents niveaux de stress, indépendamment de la situation ou du locuteur. Les paramètres spectraux aboutissaient, quant à eux, à des résultats parfois intéressants mais globalement moins systématiques. L'hypothèse généralement admise est que la réaction psychophysologique à un agent stressant implique une augmentation du rythme cardiaque, de la tension musculaire et de la pression sous-glottique, qui tous trois sont susceptibles de causer une élévation de la F0 (Alvear *et al.*, 2013).

Dans leur conclusion, Ruiz *et al.* (1996) pointaient un certain nombre d'éléments à prendre en compte pour de futurs travaux sur le sujet : (i) la nécessité de mieux définir, et donc opérationnaliser, le concept de "stress" ; (ii) l'intérêt d'objectiver la variable "stress" et ses composantes via leurs marqueurs physiologiques ; (iii) l'importance à accorder à la variation inter-individuelle (notamment dans la résistance au stress) (Ruiz *et al.*, 1996, pp.126-128). Une récente revue de la littérature consacrée aux "indices vocaux du stress" fait écho à la plupart de ces recommandations (Giddens *et al.*, 2013). Ainsi, il ressort de celle-ci que malgré la diversité des paramètres acoustiques étudiés (F0, intensité, VOT, jitter, shimmer, débit de parole, balance spectrale, rapport signal/bruit, etc.), c'est le plus systématiquement à une élévation de la F0 que le stress est associé (Mendoza & Carballo, 1998; Rothkrantz *et al.*, 2004; Huttunen *et al.*, 2011), même si celle-ci n'est pas universellement observée (Johannes *et al.*, 2000; Van Lierde *et al.*, 2009). Parmi les facteurs susceptibles de rendre compte de la variabilité des résultats obtenus, on pointera la grande variété des sous-types de stress (physique, cognitif, émotionnel ; en laboratoire vs. en situation réelle, etc.) induits dans les études considérées, ainsi que les caractéristiques individuelles des sujets étudiés (en termes d'expertise par rapport à la tâche, de réponse physiologique au stress, voire de personnalité).

Cet article traite des effets de la charge cognitive sur la fréquence fondamentale de pilotes de F-16 placés dans un scénario de vol de nuit. La charge cognitive peut être définie comme correspondant : « à l'intensité du traitement cognitif mis en œuvre par un individu lorsqu'il réalise une tâche donnée dans un contexte particulier » (Chanquoy *et al.*, 2007, p.248). De nombreux facteurs interviennent dans

l'intensité du traitement cognitif. Le premier est déterminé par le nombre d'informations impliquées dans la tâche et les relations qu'elles entretiennent entre elles : plus elles sont nombreuses, plus la charge augmente. L'expertise, c'est-à-dire les compétences et les connaissances antérieures dont dispose l'individu au moment de réaliser la tâche, influence la charge cognitive : plus le sujet est expert, plus il dispose de traitements automatisés, ce qui amoindrit sa charge cognitive. Les stratégies mises en œuvre par l'individu pour accomplir la tâche impactent la charge cognitive : une personne peut ignorer certaines informations ou optimiser certains traitements. La présence d'interférences dans le contexte d'exécution de la tâche joue également un rôle. La nature des traitements cognitifs à opérer est cruciale : des processus cognitifs ou sensoriels différents sont plus facilement exécutés simultanément, ce qui contribue à réduire la charge cognitive. L'effort que l'individu consent à produire pour mener la tâche affecte la charge cognitive maximale qu'il peut endurer : celle-ci dépend de sa motivation et de sa fatigue. Enfin, la pression temporelle intervient aussi : plus le temps disponible pour mener la tâche à son terme est faible, plus la charge cognitive augmente (Barrouillet *et al.*, 2004; Chanquoy *et al.*, 2007; Martin *et al.*, 2013).

La charge cognitive résulte donc de l'action combinée de trois entités majeures : la tâche, l'individu et l'environnement. Dans cette étude, une attention particulière a été portée au contrôle de ces trois types de facteur. A l'instar d'autres auteurs (Harmegnies & Landercy, 1992; Hansen *et al.*, 2000), nous considérons qu'un niveau de charge cognitive élevé peut constituer une pression d'ordre psychologique induisant une réponse psychophysologique appelée stress.

2 Méthodologie

Nous avons eu l'opportunité d'observer 3 pilotes de F-16 lors d'un vol d'entraînement en simulateur. Le simulateur de vol permet de recueillir des données dans un environnement contrôlé, tant en termes d'environnement acoustique que de déterminants de la tâche. Ainsi, la tâche à réaliser est définie à l'avance par un scénario enchaînant diverses phases de vol. De ce point de vue, le simulateur de vol peut être considéré comme un excellent compromis entre les études réalisées en laboratoire et celles réalisées en situation réelle. Ensuite, le contexte militaire permet de recruter des participants au profil relativement similaire (voir table 1), notamment en termes de qualifications et de carrière professionnelle, voire de personnalité. Nous avons complété l'information recueillie sur chaque participant à l'aide de deux outils : (i) l'anxiété trait, c'est-à-dire structurelle et l'anxiété état, liée à la situation, ont été mesurée avec le STAI-Y (Spielberger *et al.*, 1993) : les trois pilotes présentent un niveau moyen d'anxiété trait ; (ii) l'auto-évaluation des stratégies de coping en situation stressante a été menée avec le CISS (Endler & Parker, 1990) : les sujets recourent à des stratégies similaires pour réduire leur niveau de stress : ils se concentrent sur la tâche pour en résoudre les problèmes (pilotes 2 et 3) ou essaient de modifier la situation (pilote 1).

La simulation consistait en une mission d'interception lors d'un vol de nuit par deux chasseurs F-16, le sujet incarnant le second appareil (ailier). Le déroulé temporel de cette simulation est présenté à la figure 1. Tout d'abord, les deux appareils se dirigent vers l'aéronef inconnu et lui demandent de s'authentifier à plusieurs reprises (*interception*). Suite à la non réaction de ce dernier, une phase de combat s'engage (*combat aérien*) : alors que le sujet doit aligner l'avion ennemi dans son viseur afin de l'abattre, il est pris pour cible par un missile sol-air et doit exécuter une manœuvre d'évitement. Quelques secondes plus tard, tous les systèmes électriques de l'avion se coupent (*panne électrique*), plusieurs alarmes se déclenchent et le sujet se retrouve dans le noir complet. Rapidement, il doit

	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3
Âge	27 ans	25 ans	27 ans
Formation initiale	cadre auxiliaire BAC	cadre auxiliaire BAC	cadre de carrière BAC +5
Niveau de qualification	formation basique au combat	formation au combat terminée aucune mission	formation basique au combat
Nombre d'heures de vol sur F-16	150	350	200
Grade	capitaine	sous-lieutenant	capitaine
Niveau d'anxiété STAI-Y Trait	moyen	moyen	moyen
Stratégie de coping dominante	éviterment distraction	problème tâche	problème tâche

TABLE 1 – Profil des pilotes composant l'échantillon

activer le générateur de secours (EPU) qui n'a pas démarré automatiquement. Une fois le courant rétabli, il se lance dans un premier diagnostic, lequel est interrompu par une panne de son dispositif d'affichage tête haute (HUD) (*panne affichage tête haute*). Après plusieurs tentatives infructueuses de redémarrage du générateur principal, le pilote doit se résoudre à retourner d'urgence à la base (*retour à la base*). L'autre appareil étant également endommagé, le sujet devient leader de la formation et est chargé de le guider "dans son aile" jusque la piste d'atterrissage. En raison de la panne de l'affichage tête haute et de l'absence de visibilité, l'approche finale de la piste se réalise aux instruments avec le balisage ILS. Le train d'atterrissage ne se verrouille pas correctement lors de la première sortie et nécessite une seconde tentative. Enfin, les freins de roue étant endommagés, le sujet doit libérer le crochet d'appontage pour saisir un câble afin de freiner l'appareil lors du roulage sur la piste. A l'instar de Huttunen *et al.* (2011), nous avons découpé ce scénario en plusieurs phases en fonction de la charge cognitive induite par la tâche.

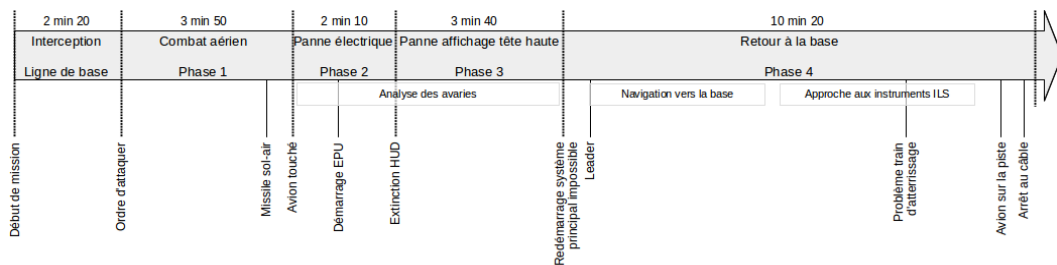


FIGURE 1 – Représentation chronologique du scénario de vol

Nous avons enregistré le signal de parole de chaque sujet grâce à un micro-casque de type Sennheiser HSP 2-EW-M relié à un dispositif d'enregistrement portable Sony Pro PCM-D100. L'ensemble des écrans d'informations et des instruments de vol ont été filmés depuis la salle de contrôle par un caméscope full HD Sony HDR 405. Pour des raisons de confidentialité, seuls les enregistrements sonores ont pu être analysés en dehors de l'enceinte militaire.

La charge cognitive effectivement induite par la tâche a été évaluée individuellement pour chaque

pilote, a posteriori, sur base du visionnage par un pilote instructeur de l'enregistrement vidéo de l'ensemble de l'exercice, phase de vol par phase de vol. Pour ce faire, nous avons employé le même outil que Huttunen *et al.* (2011) qui évalue trois dimensions. La première est appelée la conscience de la situation (CS) (Endsley, 1995) et comporte 3 niveaux : la perception des informations dans l'environnement ; la compréhension et l'intégration de celles-ci dans la situation actuelle et la projection de celles-ci afin d'anticiper l'évolution probable de la situation. La deuxième consiste en la charge informationnelle (CI) et comprend deux niveaux : la quantité et la qualité des informations à traiter. La troisième dimension s'axe quant à elle sur la charge décisionnelle (CD), 4 critères sont évalués : le temps disponible pour réaliser des choix ; la criticité de ceux-ci sur la poursuite de la tâche ; la quantité de décisions à prendre et la complexité des jugements à poser en fonction du nombre d'options disponibles. Le pilote instructeur a attribué, pour chaque sous-niveau, un score variant de 0 (aucune charge cognitive) à 100 (charge cognitive extrême) grâce à une échelle visuelle analogique. Cette hétéro-évaluation constitue notre mesure de la charge cognitive induite par la tâche.

Nous avons également demandé à chaque pilote d'estimer son niveau de stress ressenti pour chaque phase de vol, toujours à l'aide d'une échelle visuelle analogique variant de 0 (aucun stress) à 100 (beaucoup de stress). Cette auto-évaluation constitue notre mesure du stress provoqué par la charge cognitive. Par ailleurs, le niveau d'anxiété état des pilotes a été mesuré grâce au STAI-Y avant et après la simulation.

Nous avons extrait une mesure de la fréquence fondamentale toutes les 10 ms pour l'ensemble des segments voisés en recourant à l'algorithme d'extraction du pitch par auto-corrélation du logiciel Praat (version 6.0.05). Ces mesures ont fait l'objet d'une vérification manuelle sur base du spectrogramme par un expert afin de corriger toute donnée aberrante.

Chaque mesure fréquentielle a été convertie en valeur harmonique (VH) obtenue par le logarithme en base 2 du rapport entre la valeur fréquentielle exprimée en hertz (f) et une valeur de référence (r), la hauteur de la note de musique do_2 , soit 131 Hz (Zwicker & Feldtkeller, 1981). Cette conversion (figure 2) offre deux avantages : elle exprime la relation harmonique entre deux valeurs, indépendamment de la fréquence de départ, et tend à normaliser la distribution des données.

$$VH = \log_2 \left(\frac{f}{r} \right)$$

FIGURE 2 – Calcul de la valeur harmonique

Afin de rendre comparables les mesures de $F0$ recueillies, nous avons calculé un écart mélodique (EM) qui consiste en la différence entre chaque valeur harmonique et la valeur harmonique moyenne (VH_{ib}) obtenue à partir de la ligne de base de chaque pilote (phase d'interception sur la figure 1).

3 Résultats

Tout d'abord, le niveau d'anxiété état a augmenté chez les trois pilotes, mais de façon différente. Partant d'un niveau faible, les sujets 1 et 2 ont vu leur anxiété augmenter² (de 37 à 42, de 37 à 48)

2. Les notes du STAI-Y sont comprises entre 20 et 80 (< 35 niveau d'anxiété très faible ; de 35 à 45 : niveau faible ; de 46 à 55 : niveau moyen ; de 56 à 65 : niveau élevé ; > 65 niveau très élevé).

alors que l'anxiété du troisième sujet, plus forte avant la simulation, s'élève peu (de 49 à 50). La hausse d'anxiété la plus importante concerne donc le pilote 2 (+11).

La figure 3 présente le niveau de stress ressenti par chacun des pilotes. Il croît tout au long du scénario mais à des phases différentes pour chacun d'eux : le pilote 1 déclare que son stress augmente au cours de la phase 4 alors que cette hausse est ressentie à la phase 3 pour le pilote 3. Le pilote 2 affirme avoir éprouvé une élévation de son stress lors des phases 2 et 4 ainsi qu'une légère baisse lors de la phase 3. Le stress perçu diffère donc d'un individu à l'autre mais est systématiquement plus élevé à la fin de la simulation.

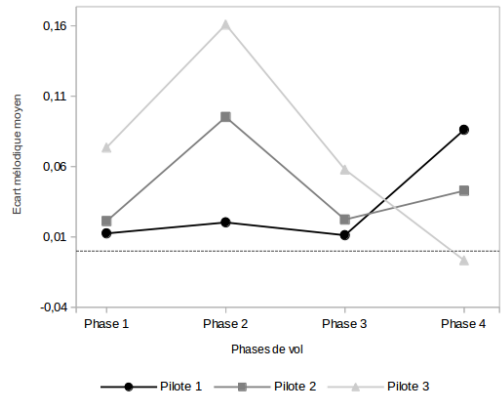
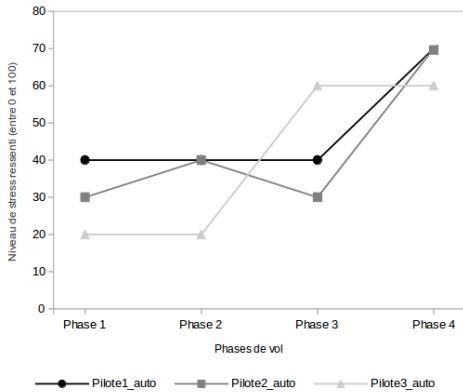


FIGURE 3 – Auto-évaluation du stress ressenti FIGURE 4 – Evolution des écarts mélodiques

En ce qui concerne l'hétéro-évaluation de la charge cognitive, les mesures positives de corrélation (r_{BP}) entre les 3 dimensions détaillées plus haut ($r_{CS-CI} = .76$, $r_{CI-CD} = .69$, $r_{CS-CD} = .49$) nous ont conduits à les moyenniser afin d'obtenir une mesure globale de la charge cognitive liée à la tâche pour chaque pilote. L'instructeur évalue la phase 3 comme la plus exigeante (> 75) et la phase 1 comme la moins astreignante (< 60) et cela quelque soit le pilote. Enfin, le niveau de stress ressenti par chaque pilote pour chaque phase est corrélé positivement à l'hétéro-évaluation de la charge cognitive ($r_{BP} = .53$).

La table 2 présente le nombre de valeurs de F0 extraites (toutes les 10 ms) et les valeurs moyennes des écarts mélodiques (\overline{EM}) pour chaque pilote et chaque phase, calculés par rapport à la valeur harmonique moyenne de leur ligne de base ($\overline{VH_{(b)}}$). L'analyse de la figure 4 montre que, hormis pour la phase 4 chez le pilote 3, l'écart mélodique moyen est toujours supérieur à la ligne de base (trait discontinu sur la figure 4). Il augmente, dans des proportions différentes, chez tous les pilotes lors de la phase 2 et redescend lors de la phase 3 à un niveau proche de celui de la phase 1. Enfin, on observe des évolutions de l'écart mélodique opposées entre le pilote 3 et les pilotes 1 et 2 : la fréquence fondamentale du troisième sujet chute sous sa ligne de base tandis que celle des deux autres sujets grimpe et atteint son maximum chez le pilote 1 en fin de simulation.

Une analyse de variance à 2 critères croisés à modèle mixte (phase : facteur fixe ; pilote : facteur aléatoire) met en avant une absence de différences significatives entre les pilotes ($F = .575$, $p = .591$) et entre les phases ($F = .484$, $p = .706$) mais confirme la présence d'un effet d'interaction entre les phases et les pilotes ($F = 258.311$, $p < .001$). Les pilotes présentent donc des profils différents d'évolution de leur écart mélodique en fonction des phases, principalement en fin de simulation. Par

ailleurs, l'écart mélodique est faiblement corrélé à l'hétéro-évaluation de la charge cognitive ($r_{CC-EM} = .35$), et à l'auto-évaluation du stress ($r_{CC-SC} = .17$).

	Ligne de base	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Pilote 1	n = 700 $\overline{VH_{lb}} = -.4145$	n = 2137 $\overline{EM} = .0125$	n = 2642 $\overline{EM} = .0203$	n = 5251 $\overline{EM} = .0112$	n = 3883 $\overline{EM} = .0861$
Pilote 2	n = 792 $\overline{VH_{lb}} = -.3697$	n = 507 $\overline{EM} = .0212$	n = 875 $\overline{EM} = .0952$	n = 2257 $\overline{EM} = .0223$	n = 7225 $\overline{EM} = .0428$
Pilote 3	n = 2350 $\overline{VH_{lb}} = -.2535$	n = 1164 $\overline{EM} = .0735$	n = 1468 $\overline{EM} = .1609$	n = 2797 $\overline{EM} = .0579$	n = 9049 $\overline{EM} = -.0066$

TABLE 2 – Valeur harmonique moyenne de la ligne de base de chaque pilote et écarts mélodiques moyens des phases 1 à 4 par pilote

4 Discussion

Dans cette étude, nous avons recueilli de la parole spontanée en situation simulée disposant d'une bonne validité écologique (simulateur reproduisant fidèlement un cockpit, scénario crédible, etc.). La parole avait un rôle majoritairement fonctionnel (communications radio). Son analyse s'est révélée riche : le recours au calcul de l'écart mélodique a permis d'observer l'évolution de la fréquence fondamentale en comparant chaque pilote à lui-même et aux autres lors des différentes phases de vol. Un effet d'interaction a été mis en avant : les trois sujets voient leur fréquence fondamentale augmenter sous le poids du stress engendré par la panne générale d'alimentation électrique. Par contre, celle-ci varie de manière contrastée entre les pilotes lors de l'atterrissage : la résistance au stress acquise lors de la formation initiale (Master) du pilote 3 explique peut-être cette disparité.

Bien que la corrélation entre l'écart mélodique et l'hétéro-évaluation soit faible, elle est plus importante que celle obtenue par Huttunen *et al.* (2011) et conforte l'idée que la fréquence fondamentale est un bon candidat pour estimer la charge cognitive et le stress qu'elle induit (Harmegnies & Landercy, 1992; Ruiz *et al.*, 1996; Giddens *et al.*, 2013). Toutefois, un travail important reste à mener pour caractériser le stress induit par la charge cognitive en fonction de ses trois composantes (la tâche, l'individu et l'environnement) et de leurs interactions. En effet, au cours de la simulation, nous avons pointé des événements susceptibles d'agir sur le pilote du fait de leur valence émotionnelle (éviter le missile, panne dans le noir complet, endossement du rôle de leader, etc.) et d'autres impactant plutôt les processus cognitifs requis pour l'effectuation de la tâche (check-list pour l'appréciation des avaries et pour le redémarrage du générateur principal, planification de l'atterrissage, approche aux instruments, etc.). Les répercussions de ces événements varient bien sûr en fonction de l'individu, c'est pourquoi il est crucial de collecter un maximum d'informations sur celui-ci.

Notons par ailleurs que l'évolution dans le temps de l'effet des phénomènes devrait être questionnée : nos données quant à l'auto-évaluation et à l'anxiété état suggèrent un effet cumulatif. Les valeurs croissent progressivement sans jamais diminuer. Ce cumul joue très probablement un rôle dans l'apparition de la fatigue et, ipso facto, peut entraîner une réduction des ressources cognitives.

Dans cette expérience, nous avons délibérément adopté la même démarche que Huttunen *et al.* (2011) en découpant le scénario en plusieurs phases. Toutefois, en prenant un peu de recul, nous nous interrogeons sur la pertinence de ce choix : en effet, les phases créées ont des longueurs dissemblables et variables d'un pilote à l'autre (voir la variabilité du nombre de segments voisés analysés dans la

table 2) et ne génèrent pas un niveau constant de charge cognitive. Nous suspectons que la moyenne de l'écart mélodique par phase gomme trop les variations au sein de chaque phase. La fréquence fondamentale changeant très rapidement (Harmegnies & Landercy, 1992; Ruiz *et al.*, 1996; Giddens *et al.*, 2013), une approche par événements et par épisodes nous paraît sans aucun doute plus indiquée, c'est pourquoi nous avons placé les faits les plus marquants sur la ligne du temps modélisant le scénario (figure 1). Il convient de signaler que chaque incident n'est pas systématiquement suivi d'une manifestation orale, ce qui rend parfois impossible la spéculation sur les effets de la charge cognitive via l'analyse du signal de parole. De plus, la réaction émotionnelle à un événement peut être différée dans le temps et avoir des effets plus ou moins durables. Par ailleurs, dans le domaine militaire, l'entraînement intensif vise, entre autres, à améliorer la régulation des réactions émotionnelles suscitées par l'émergence d'événements imprévus.

En outre, nous avons observé un fait particulier : les pilotes, francophones, communiquent en anglais avec la tour et leurs alliés mais, lorsqu'ils se parlent à eux-mêmes, le font en français même lorsqu'ils emploient une terminologie anglophone. Ce constat est sans doute à mettre en lien avec la compétence des sujets en langue anglaise (Piccaluga *et al.*, 2007) et l'adoption de la langue maternelle est sans doute une stratégie amoindrissant la charge cognitive (Martin *et al.*, 2013), ce qui suggère, a contrario, que l'utilisation de l'anglais est consommatrice de ressources cognitives.

Ces constatations montrent toute l'importance du contexte dans lequel chaque événement se déroule (Chanquoy *et al.*, 2007) et nous amènent à envisager la construction d'une typologie des situations en fonction de la durée de chaque événement, de sa valence émotionnelle, de la langue employée, de l'intention de communication du locuteur et de la nature précise de la tâche. A propos de cette dernière, notre étude confirme la pertinence des trois dimensions (conscience de la situation, charges informationnelle et décisionnelle) mises en avant par Huttunen *et al.* (2011).

Outre la fréquence fondamentale, les analyses spectrales sont susceptibles d'apporter des éléments intéressants pour étudier les effets de la charge cognitive. Nous aborderons nos futures recherches sous l'angle de la collaboration avec des chercheurs issus d'autres disciplines scientifiques. C'est là tout l'intérêt du projet BIOVOC dans lequel nous nous sommes engagés : la validation croisée des indices acoustiques avec des informations issues de paramètres physiologiques tels que la fréquence cardiaque (Alvear *et al.*, 2013) et biologiques recueillis au travers de la salive par exemple, nous offrira un regard nouveau qui nous permettra, nous l'espérons, de mieux définir et opérationnaliser les concepts impliqués.

Remerciements

Nous tenons à remercier les pilotes, le pilote instructeur et la force aérienne belge.

Références

- ALVEAR R. M. B. D., BARÓN-LÓPEZ F. J., ALGUACIL M. D. & DAWID-MILNER M. S. (2013). Interactions between voice fundamental frequency and cardiovascular parameters. Preliminary results and physiological mechanisms. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, **38**(2), 52–58.
- BARROUILLET P., BERNARDIN S. & CAMOS V. (2004). Time Constraints and Resource Sharing in Adults' Working Memory Spans. *Journal of Experimental Psychology : General*, **133**(1), 83–100.

CHANQUOY L., TRICOT A. & SWELLER J. (2007). *La charge cognitive : théorie et applications*. Paris : Armand Colin.

ENDLER N. S. & PARKER J. D. A. (1990). *Coping Inventory for Stressful Situations (CISS) : Manual*. Toronto, Canada : Multi-Health Systems.

ENDSLEY M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors : The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, **37**(1), 32–64.

GIDDENS C. L., BARRON K. W., BYRD-CRAVEN J., CLARK K. F. & WINTER A. S. (2013). Vocal indices of stress : A review. *Journal of Voice*, **27**(3), 390.e21 – 390.e29.

HANSEN J., SWAIL C., SOUTH A., MOORE H., STEENEKEN H., CUPPLES E., ANDERSON T., VLOEBERGHES C., TRANCOSO I. & VERLINDE P. (2000). *The impact of speech under "stress" on military speech technology = l'impact de la parole en condition de "stress" sur les technologies vocales militaires*. Neuilly-sur-Seine Cedex, France : RTO/NATO.

HARMEGNIES B. & LANDERCY A. (1992). A multivariate approach for the analysis of speech under cognitive stress. In *Proceedings of the ESCA Workshop "Speech Processing in Adverse Conditions*, p. 231–234, Nice.

HUTTUNEN K., KERÄNEN H., VÄYRYNEN E., PÄÄKKÖNEN R. & LEINO T. (2011). Effect of cognitive load on speech prosody in aviation : Evidence from military simulator flights. *Applied Ergonomics*, **42**(2), 348–357.

JOHANNES B., SALNITSKI V. P., GUNGA H. C. & KIRSCH K. (2000). Voice stress monitoring in space—possibilities and limits. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, **71**(9 Suppl), A58–65.

MARTIN C., HOURLIER S. & CEGARRA J. (2013). La charge mentale de travail : un concept qui reste indispensable, l'exemple de l'aéronautique. *Le travail humain*, **76**(4), 285–308.

MENDOZA E. & CARBALLO G. (1998). Acoustic analysis of induced vocal stress by means of cognitive workload tasks. *Journal of Voice*, **12**(3), 263–273.

PICCALUGA M., NESPOULOUS J.-L. & HARMEGNIES B. (2007). Disfluency surface markers and cognitive processing ; the case of simultaneous interpreting. In *16th International Congress of the Phonetic Sciences*, p. 1317–1320, Saarbrücken, Allemagne.

ROTHKRANTZ L. J. M., WIGGERS P., VAN WEES J.-W. A. & VAN VARK R. J. (2004). Voice Stress Analysis. In D. HUTCHISON, T. KANADE, J. KITTLER, J. M. KLEINBERG, F. MATTERN, J. C. MITCHELL, M. NAOR, O. NIERSTRASZ, C. PANDU RANGAN, B. STEFFEN, M. SUDAN, D. TERZOPOULOS, D. TYGAR, M. Y. VARDI, G. WEIKUM, P. SOJKA, I. KOPEČEK & K. PALA, Eds., *Text, Speech and Dialogue*, volume 3206, p. 449–456. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg.

RUIZ R., ABSIL E., HARMEGNIES B., LEGROS C. & POCH D. (1996). Time- and spectrum-related variabilities in stressed speech under laboratory and real conditions. *Speech Communication*, **20**(1–2), 111 – 129. *Speech under Stress*.

SPIELBERGER C. D., BRUCHON-SCHWEITZER M. & PAULHAN I. (1993). *Inventaire d'anxiété état-trait forme Y (STAI-Y) : [manuel]*. Paris : Ed. du Centre de psychologie appliquée.

VAN LIERDE K., VAN HEULE S., DE LEY S., MERTENS E. & CLAEYS S. (2009). Effect of psychological stress on female vocal quality. A multiparameter approach. *Folia phoniatrica et logopaedica : official organ of the International Association of Logopedics and Phoniatrics (IALP)*, **61**(2), 105–111.

ZWICKER E. & FELDTKELLER R. (1981). *Psychoacoustique : l'oreille, récepteur d'information*. Collection technique et scientifique des télécommunications. Masson.