

Désorientation spatiale par dérives perceptives générées par certains systèmes militaires

Médecin chef des Services C. Raphel and Dr. C. Cian
Centre de Recherches du Service de Santé des Armées "Emile Pardé"
24, avenue des Maquis du Grésivaudan
B.P. 87 38702 La Tronche Cedex, France

Summary

The development of new technologies in the weapon systems generate sensory flows that can induce sensory interactions, conflicts and dysfunction. The consequences can be pathological disorders, spatial disorientation or space confusion. Most of these problems has been studied in the field of aviation and concerned large gravito-inertial forces. However, perceptual drifts have been observed for lower gravito-inertial forces generated by anti-aircraft guns. Studies of a visual tracking task have shown that low accelerations, under phenomenological thresholds of the vestibular system, unconsciously affect the spatial perception of a target. Basic studies suggest new explanations of the psychophysiological mechanisms of the vestibular system. Moreover, these data can help understand potential problems of spatial disorientation produced by low sensory stimulation.

Parmi les contraintes mentales qu'induisent certains systèmes d'armes utilisant les nouvelles technologies, les flux sensoriels qui participent à l'exécution d'une tâche, deviennent une source grandissante de problèmes. Au-delà de la charge ou de la fatigue mentale, certains systèmes sont à l'origine de phénomènes d'interactions, de conflits et de dysfonctionnements sensoriels aux effets péjoratifs sur l'efficacité de ceux qui les emploient. A l'extrême, les conséquences peuvent être des troubles pathologiques de type nausées et vertiges connus depuis longtemps dans le domaine du mal des transports, des simulateurs et de la réalité virtuelle. En dehors de la pathologie, les conséquences les plus courantes générées par ces systèmes sont les illusions sensorielles, la désorientation spatiale ou encore les dérives perceptives. L'origine revient à l'instabilité et l'incohérence du flux sensoriel généré par les nouveaux équipements, mais aussi, aux propriétés fonctionnelles du Système Nerveux Central qui engendre ses propres dysfonctionnements. Dans la problématique des interactions et des conflits intersensoriels qui mettent en jeu la vision, l'oreille interne et la somesthésie, la construction perceptive de l'environnement et la représentation mentale qui en découle, prennent en compte l'ensemble des informations sensorielles. Selon les conceptions cognitivistes, le cerveau à partir des systèmes sensoriels, mémorise en permanence non seulement de l'information mais aussi et surtout de l'expérience. Ainsi, les conflits cognitifs qu'engendrent les discordances de flux sensoriels entre la vision, l'oreille interne et la proprioception, sont à l'origine des dérèglements comportementaux et des phénomènes pathologiques. Les conflits, les interactions et les dysfonctionnements sensoriels ne sont autres que des situations perceptives particulières dans lesquelles le système nerveux central traite des informations inhabituelles, discordantes ou incomplètes par rapport à l'expérience et l'expertise acquises par le sujet. Ces situations viennent ainsi déstabiliser, désorganiser des automatismes acquis avec le temps et renforcés quotidiennement.

Historiquement, les premiers effets saillants des interactions sensorielles ont été observés en aéronautique, avec les illusions dont sont l'objet les pilotes soumis à de fortes accélérations gravito-inertielles. Mais aujourd'hui, l'émergence et la multiplication de ces problèmes de conflits et d'interactions sensorielles ne se limitent pas au milieu de l'aéronautique ; ils s'observent aussi sur des systèmes d'armement terrestres que l'on pourrait qualifier à priori d'inoffensifs pour l'individu en matière de contrainte gravito-inertielle. Ainsi, des phénomènes similaires à des illusions s'observent avec des systèmes de poursuite de cible sur lesquels l'opérateur qui effectue une visée dynamique, est également l'objet d'un décalage perceptif de l'axe de visée. La particularité importante de ces situations est que l'opérateur n'est pas conscient de ce phénomène de dérive perceptive alors que les effets sont significatifs sur la performance. Ce phénomène est en fait induit par les déplacements rotatoires de l'opérateur avec la machine qu'il pilote, déplacements qui génèrent de faibles stimulations gravito-inertielles affectant l'oreille interne. En effet, par une étude sur simulateur respectant les mêmes caractéristiques de déplacement postural nous avons pu mettre en évidence un phénomène de dérive d'avance du signal de tracking qui est permanent en tangage, même pour les vitesses et

accélérations rotatoires les plus faibles. Ce résultat est assez inattendu par rapport à l'hypothèse selon laquelle la perception des mouvements de la cible se ferait uniquement à partir d'invariants appartenant à l'organisation optique du champ visuel (Gibson, 1968, 1979). En effet, on était en mesure de penser que le traitement visuo-visuel de la cible et du réticule de pointage dépendrait essentiellement de la vitesse et de la trajectoire de la cible. De fait, la dérive du signal de tracking aurait dû être «en retard» sur la trajectoire de la cible. Par rapport aux données de la littérature, l'explication la plus cohérente pour justifier ce phénomène de dérive, se rapporte aux illusions d'origine vestibulaire. Dans le sens des rotations en tangage, il s'agirait de phénomènes similaires aux illusions d'élévation et oculogravique liées aux accélérations linéaires, radiales et tangentielles.

Cette étude sur simulateur a été complétée par des travaux fondamentaux. Le modèle expérimental utilisé consiste à faire effectuer une tâche d'ajustement de la perception visuelle du niveau des yeux. L'horizon visuel subjectif est une référence égocentrique qui permet d'estimer la localisation d'un objet au-dessus ou au-dessous de la direction du regard. L'effet de perturbations gravito-inertielles sur l'horizon visuel a été montré dans l'illusion d'élévation avec modification de l'amplitude de la gravité et dans l'illusion oculogravique avec modification de l'amplitude et de la direction de la gravité (Clark et Graybiel, 1951 ; Cohen, 1973, 1981 ; Correia et al., 1968 ; Graybiel, 1952 ; Schöne, 1964 ; Whiteside, 1961). Dans tous les cas, l'augmentation d'amplitude et/ou le déplacement de la résultante gravito-inertielle vont dans le sens d'un abaissement de l'horizon visuel. Le point commun de l'ensemble des travaux, est que les effets observés ont tous eu lieu dans des conditions de charge gravito-inertielle importante, G étant majoré de 25 à 100%. La démarche fondamentale entreprise à ce niveau s'intéressait aux interactions entre des stimulations posturo-gravitaires de très faible intensité comprises entre les valeurs maximum de $9,85\text{m/s}^2$ et minimum de $9,810000624\text{ m/s}^2$, générées par centrifugation et la PVNY (Raphel, Barraud, 1994).

Les principaux résultats (figure 1) montrent qu'en absence de référence visuelle, l'abaissement de l'horizon visuel devient significatif à partir d'une accélération radiale de 0.014m/s^2 ($G_i=9.81001\text{m/s}^2$). Cette valeur est inférieure à la plus basse des valeurs (environ $0,05\text{ m/s}^2$), du seuil de perception phénoménologique d'une accélération linéaire connu à ce jour (Boff et Lincoln, 1988). Ainsi, dans la tâche de tracking décrite précédemment, la dérive du signal semble bien résulter d'un phénomène assimilable à une illusion oculogravique, totalement inconsciente pour le sujet. Par ailleurs, il existe une relation logarithmique entre l'accélération radiale de faible intensité et l'abaissement de l'horizon visuel.

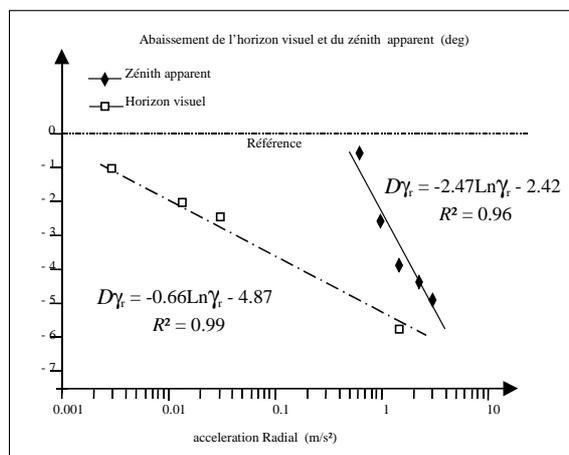


Figure 1 : Représentation graphique de la fonction de régression logarithmique entre l'accélération radiale et l'écart d'ajustement de l'horizon visuel (Raphel et Barraud, 1994) et du zénith apparent (Raphel et al., 2001).

Les mécanismes à l'origine de cet abaissement de l'horizon visuel sont expliqués de manière phénoménologique par une perception illusoire d'inclinaison arrière en tangage du corps semblable à celle observée lorsque le sujet est soumis à de fortes accélérations linéaires. Au niveau physiologique l'abaissement de l'horizon visuel serait expliqué uniquement par les actions mécaniques des stimulations au niveau otolithique. En effet, lorsque la résultante gravito-inertielle est importante la stimulation intéresse les capteurs vestibulaires ainsi que la proprioception mécanoréceptrice. Par contre, lorsque les accélérations radiales sont faibles, seuls les détecteurs otolithiques d'accélération linéaire sont mis en jeu puisque les faibles variations de la résultante gravito-inertielle exclu une origine tactile et kinesthésique sachant que les variations du poids du sujet sont de l'ordre de quelques centaines de milligrammes.

Dans le but de caractériser la contribution de l'organe otolithique à l'élaboration de l'horizon visuel, nous avons entrepris une étude des effets des accélérations radiales de faibles intensités produites par centrifugation lorsque le sujet est en position couchée dans le noir (Raphel et al., 2001). Par rapport au système de poursuite de cible à l'origine de ces travaux, cette position représente l'inclinaison en tangage maximum que le sujet peut subir. Dans cette position, la perception visuelle du niveau des yeux correspond au zénith apparent et donc à la direction gravitaire (figure 2). Le système vestibulaire a subi une rotation de 90° par rapport à la force gravitaire. Les forces de centrifugation et gravito-inertiel qui s'exercent sur le système otolithique sont donc inversées. Les principaux résultats montrent un abaissement significatif du zénith apparent par rapport aux ajustements à l'arrêt lorsque le sujet couché est soumis à une contrainte de centrifugation (figure 1). Ainsi, quelle que soit la position spatiale du sujet, l'accélération radiale induit un déplacement de l'horizon visuel semblable au déplacement de la résultante gravito-inertielle. Par ailleurs, s'il existe une relation logarithmique entre les accélérations et l'abaissement du zénith apparent semblable à celle observée en position assise, les valeurs des constantes sont différentes. Le seuil théorique de sensibilité aux accélérations est plus élevé en position couchée qu'en position assise. La sensibilité aux variations d'accélération est également plus élevée dans la position couchée.

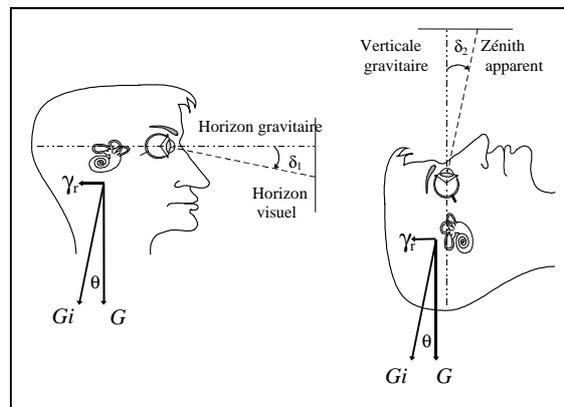


Figure 2 : Représentation des effets perceptivo-moteurs des forces agissant sur l'oreille interne au cours du déplacement postural du sujet en position verticale et horizontale.

Une explication strictement sensorielle liée aux variations fonctionnelles des propriétés neurophysiologiques des différents capteurs otolithiques ou en termes d'effets combinés du système vestibulaire et de la proprioception oculaire ne semble pas suffisante pour expliquer la contradiction fonctionnelle entre un seuil perceptif bas associé à une faible sensibilité aux variations d'accélération dans la position assise, et un seuil perceptif élevé associé à une sensibilité élevée aux variations d'accélération dans la position couchée. Les différences de sensibilité entre la position assise et couchée peuvent trouver une explication dans un modèle écologique de fonctionnement de l'oreille interne. Selon ce modèle, la pertinence, l'intégration et le traitement mental des signaux sensoriels dépendraient des conditions dans lesquelles les organes sensoriels sont habituellement mis en jeu. Dans la vie courante, pour un sujet en position érigée, le système otolithique est activé par les mouvements antéro-postérieures de la tête pour des accélérations comprises entre 0 et plusieurs m/s^2 . Dans ces conditions, le seuil de détection des signaux vestibulaires devrait être bas et la sensibilité aux variations des accélérations linéaires devrait être faible compte tenu de l'étendue des accélérations possibles. Dans l'axe vertical, le système otolithique est par contre toujours soumis à la gravité et les variations de la force gravitaire sont faibles. Dans ces conditions, on peut comprendre que le seuil de détection des accélérations linéaires dans l'axe vertical soit élevé et que la sensibilité aux variations d'accélération dans la direction gravitaire soit également élevée. C'est ce que nous observons effectivement lorsque le sujet couché subit une accélération linéaire sur un axe inféro-supérieur.

Enfin, il faut noter que, quelle que soit la position spatiale du sujet, si l'accélération radiale induit un déplacement de l'horizon visuel semblable au déplacement de la résultante gravito-inertielle, cette adéquation est loin d'être homothétique en matière de déplacement angulaire dans le plan horizontal. En effet, pour une inclinaison de la résultante gravito-inertielle inférieure à 1.95° , la réponse visuelle est amplifiée puisque le déplacement de l'horizon visuel est beaucoup plus important que le déplacement de la résultante gravito-inertielle (figure 3). Au-delà de 9.6° d'inclinaison de la résultante gravito-inertielle, le déplacement de l'horizon visuel correspondant est plus faible d'où une atténuation de la réponse visuelle. Ainsi l'amplification du signal sensoriel pour les très faibles stimulations pourrait être une porte d'entrée explicative dans certaines interactions sensorielles comme le mal des simulateurs, pour expliquer en

particulier le paradoxe entre l'évolution des simulateurs qui sont technologiquement de plus en plus près de la réalité, sans toutefois être la réalité, et l'augmentation du taux des troubles fonctionnels qu'ils génèrent.

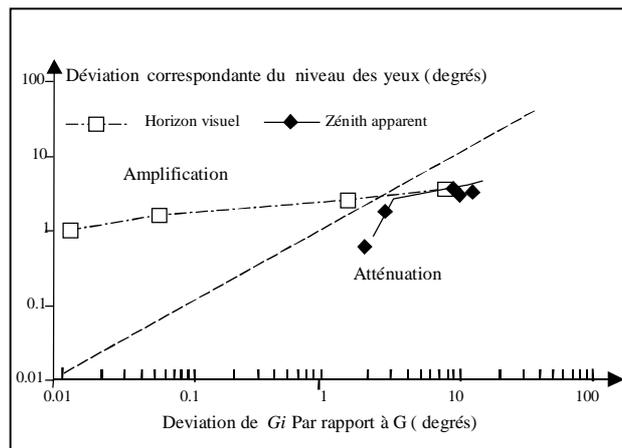


Figure 3: Représentation de la relation entre l'inclinaison de la résultante gravito-inertielle et le déplacement de l'horizon visuel et du zénith apparent. Les échelles sont logarithmiques.

En conclusion, les travaux que nous avons menés dans le domaine de l'horizon visuel, ont mis en évidence le rôle important joué par de très faibles stimulations otolithiques dans la perception spatiale d'une cible visuelle. Ces recherches en laboratoire nous permettent aussi d'expliquer la dérive du signal observée pour des stimulations posturo-gravitaires de très faible intensité lors de tâches de tracking. On peut suggérer que cette dérive perceptive résulte d'un phénomène assimilable à une illusion oculogravique, dont la caractéristique importante est qu'elle est totalement inconsciente pour le sujet.

Références

- Boff, K.R., & Lincoln, J.E (1988). *Engineering data compendium: Human Perception and Performance*. Missouri: McBee.
- Clark, B., & Graybiel, A. (1951). Visual perception of the horizontal following exposure to radial acceleration on a centrifuge. *Journal of Comparative & Physiological Psychology*, 44, 525-534.
- Cohen, M. (1973). Elevator illusion: influences of otolith organ activity and neck proprioception. *Perception & Psychophysics*, 14, 401-406.
- Cohen, M. (1981). Visual-proprioceptive interactions. In R.D. Walk & H.L. Pick (Eds.), *Intersensory perception & sensory integration* (pp. 175-216). New York: Plenum Press.
- Correia, M.J., Hixon, W.C., & Niven, J.I. (1968). On predictive equations for subjective judgments of vertical and horizon in a force field. *Acta Oto-Laryngologica*, 230 (suppl.), 3-20.
- Gibson, R.E. (1968). What gives rise to the perception of motion? *Psychological Review*, 75, 335-345.
- Gibson, R.E. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Graybiel, A. (1952). Oculogravic illusion. *Archives of Ophthalmology*, 48, 605-615.
- Raphel, C., & Barraud, P. A. (1994). Perceptual thresholds of radial acceleration as indicated by Visually Perceived Eye Level. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 65, 204-208.
- Raphel, C., Cian, C, Barraud, P.A., & Micheyl, C. (sous presse). Effects of body supine position and low radial accelerations to the Visually Perceived Eye Level. *Perception & Psychophysics*.
- Schöne, H. (1964). On the role of Gravity in human spatial orientation. *Aerospace Medicine*, 35, 764-772.
- Whiteside, T.C.D. (1961). Hand-eye-coordination in weightlessness. *Aerospace Medicine*, 32, 719-725.