Les yeux ont des oreilles : Mesurer la réponse d'orientation aux sons à l'aide de la pupillométrie[1]

Alexandre Marois, Katherine Labonté, Mark Parent & François Vachon

École de psychologie, Université Laval

Mots-clés : Réponse pupillaire; Réponse d'orientation; Capture attentionnelle; Habituation; Déviation auditive

Introduction

La présentation d'un son non pertinent qui dévie du contexte auditif dans lequel il est présenté peut affecter le système cognitif (p. ex., Hughes, Vachon & Jones, 2005). Cette perturbation provient du fait qu'un tel son déviant entraîne un déplacement involontaire de l'attention de la tâche en cours vers le son. L'exposition à un stimulus déviant activerait également le système nerveux autonome sympathique, produisant plusieurs réponses phasiques (ou rapides) associées à une meilleure vigilance (p. ex., augmentation du rythme cardiaque ou de l'activité électrodermale; Sokolov, 1963). Ces réponses physiologiques peuvent être utilisées comme indices la réponse d'orientation (RO), c.-à-d. qu'elles permettent de dénoter l'occurrence d'une réorientation du focus attentionnel vers le déviant. Selon la théorie de la réponse d'orientation (Sokolov, 1963), les caractéristiques acoustiques du contexte auditif récent sont automatiquement enregistrées par le système cognitif. Cette intégration forme une représentation mentale de l'environnement acoustique appelée modèle neuronal. Un son s'intègre de plus en plus dans le modèle neuronal à mesure qu'il est répété. Cela atténue le degré de discordance entre le son (répété) et le contenu du modèle neuronal, réduisant ainsi la réponse d'orientation à ce son.

---

[1]Ce texte a été composé à titre d'exemple pour les étudiant(e)s qui désirent soumettre un résumé long à la revue Psycause. Il s'agit d'une adaptation de l'article dont la référence est : Marois, A., Labonté, K., Parent, M., & Vachon, F. (2018). Eyes have ears: Indexing the orienting response to sound using pupillometry. International Journal of Psychophysiology, 123, 152–162, doi:10.1016/j.ijpsycho.2017.09.016

Cependant, lorsqu'un son entrant ne respecte pas les prédictions issues du modèle, les attentes sont violées, ce qui entraîne un rétablissement de la réponse d'orientation (par exemple, Schröger, 1997 ; Vachon et al., 2012). Selon Sokolov (1963), une réponse physiologique doit remplir deux critères pour être considérée comme index de la RO. D'abord, elle doit respecter le patron classique d'habituation, soit : 1) diminuer suivant la répétition d'un même stimulus standard; 2) se rétablir face à la présentation d'un stimulus déviant; et 3) se rétablir de nouveau suite à la re-présentation du stimulus standard initial. La réponse physiologique doit également être d'amplitude proportionnelle à celle de la déviation sonore. La réponse pupillaire (ou pupillary dilation response; *PDR*), une autre réponse physiologique produite par l'activation du système sympathique, est également déclenchée par la présentation d'un son déviant (p. ex., Steiner & Barry, 2011). Malgré un intérêt croissant, la question de savoir si la réponse pupillaire aux stimuli auditifs déviants reflète la réponse d'orientation reste jusqu'à maintenant ouverte. L'objectif de cette étude est de vérifier si la *PDR* respecte l'ensemble des critères lui permettant d'être identifiée comme index de la RO.

Méthode

Trente-cinq participants recrutés à l'Université Laval prennent part à une tâche de Brown Peterson informatisée. Dans chaque essai, trois lettres sont présentées à l'écran puis, suivant une période de rétention dans laquelle ils doivent effectuer un compte-à-rebours, les participants doivent rappeler ces trois lettres. Pendant le compte-à-rebours, des séquences de sons à ignorer sont présentées. Ces séquences sont séparées en trois phases : la phase d'habituation (8, 10 ou 12 sons), la phase de changement sonore (8, 10 ou 12 sons) et la phase de déshabituation (2 sons). Dans les essais contrôles, un seul son (le son standard) est présenté à répétition. Dans les essais petite déviation et grande déviation, le même son standard est présenté dans les phases

d'habituation et de déshabituation, mais un son d'une hauteur tonale différente (faiblement ou largement plus élevée selon que l'essai soit petite ou grande déviation, respectivement) est présenté dans la phase de changement sonore. La Figure 1 illustre la tâche de Brown-Peterson ainsi que la nature des séquences auditives présentées lors du compte-à-rebours.

En continu, un appareil de suivi du mouvement oculaire (Tobii TX300) mesure le diamètre pupillaire des participants. La *PDR* est calculée en mesurant la variation du diamètre pupillaire produite par chaque son. Le niveau de base moyen, jusqu'à 200 ms préstimulus, est soustrait du maximum que la pupille atteint entre 500 et 2 000 ms post-stimulus. Cette différence est ensuite divisée par le niveau de base afin d'obtenir une réponse relative. La *PDR* produite par les sons—excluant les sons 9 à 12—est comparée selon le type d'essai et le type de son.

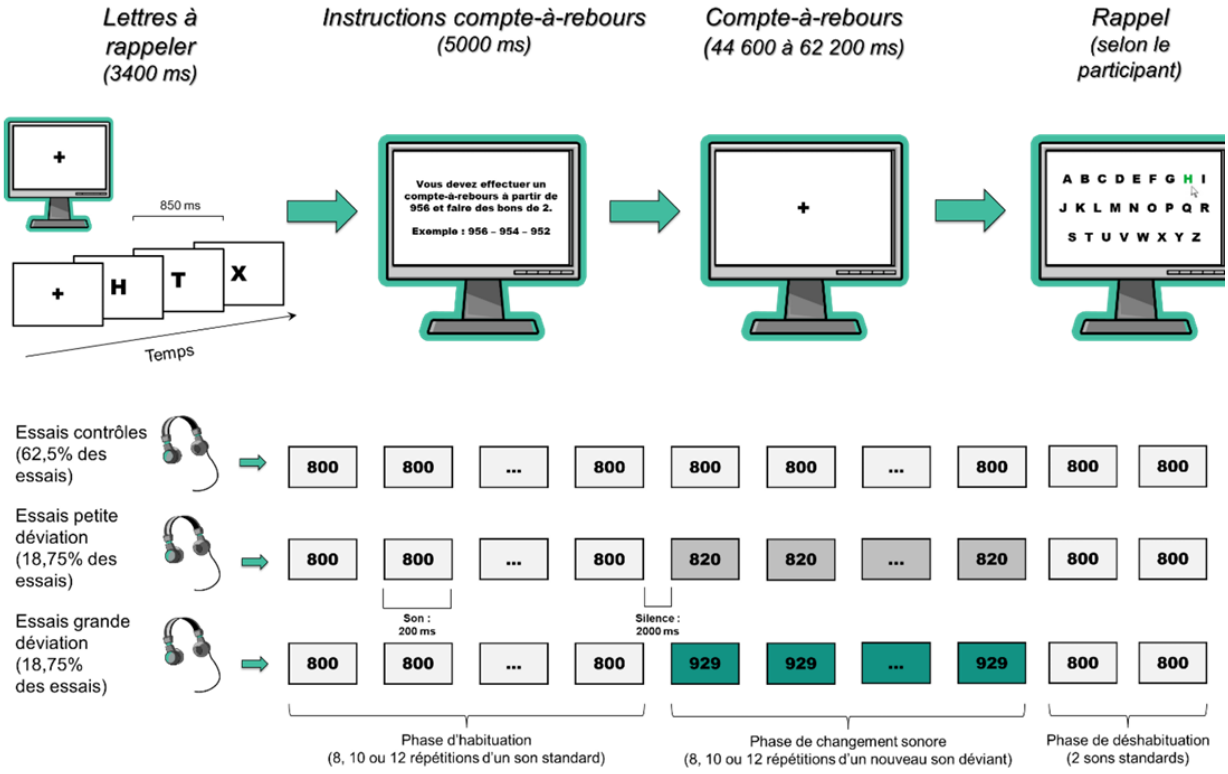

Figure 1. Illustration de la tâche de Brown-Peterson et des séquences auditives à ignorer présentées lors du compte-à-rebours. Chaque son est représenté au bas de la figure par un rectangle dont le nombre indiqué à titre d'exemple correspond à la hauteur tonale en Hz.

Résultats et discussion

Les résultats montrent que la *PDR* respecte les critères d'un index valide de la RO. Tel qu'illustré dans la Figure 2, l'amplitude de la *PDR* diminue suivant la répétition d'un même son dans les phases d'habituation (sons H1 à H8) et de changement sonore (sons C1 à C8). Par ailleurs, un rétablissement de la *PDR* est observé lorsqu'un nouveau son est présenté (C1), et ce, de façon proportionnelle à l'amplitude de la déviation sonore, c.-à-d. d'une magnitude significativement plus élevée pour les essais grande déviation que pour les essais petite déviation. Enfin, un rétablissement de la *PDR* est également produit lorsque le son initial est re présenté (D1) suivant la présentation répétée du nouveau son (sons C1 à C8).

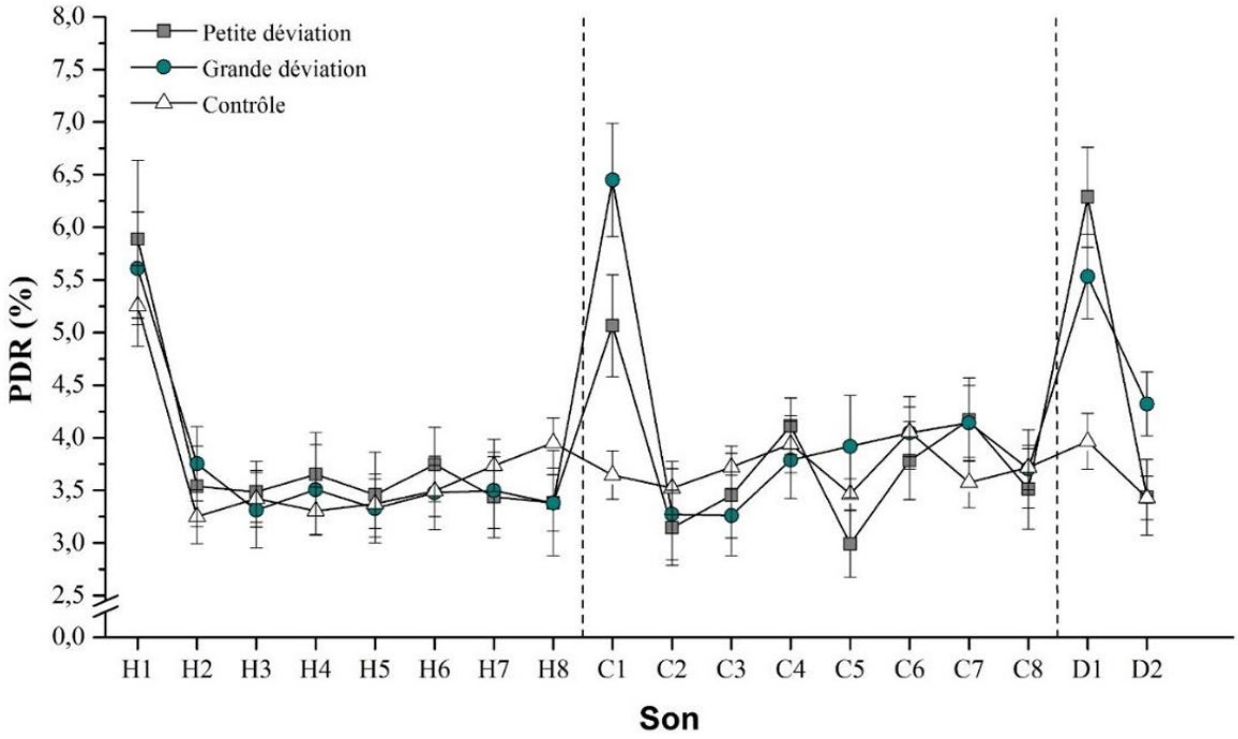

Figure 2. Réponse pupillaire (*PDR*) relative moyenne, en %, produite par la présentation de chaque son dans les phases d'habituation (H1 à H8), de changement sonore (C1 à C8) et de déshabituation (D1 et D2) pour chaque type d'essai. Les sons 9 à 12 pour les phases d'habituation et de déshabituation sont absents puisqu'ils sont retirés des analyses. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne.

Ce patron de résultat est cohérent avec la théorie du gain adaptatif qui suggère que les réponses physiologiques produites par la RO sont associées à l'état d'alerte du corps (voir Aston Jones & Cohen, 2005). L'augmentation du diamètre pupillaire suivant la présentation d'un stimulus déviant permet d'optimiser la quantité d'information visuelle pouvant être traitée et, ultimement, la vigilance. La diminution d'amplitude de la *PDR* au fil de la répétition d'un même événement est également cohérente avec cette théorie. Comme la répétition d'un stimulus rend ce dernier plus prévisible et potentiellement moins pertinent, la RO et les réponses physiologiques déclenchées tendent à diminuer. L'utilisation de la *PDR* comme indice de la RO auditive offre plusieurs avantages pour des contextes où la détection d'un son déviant est essentielle. La pupillométrie pourrait permettre de monitorer, chez les pilotes d'avion, la RO produite par des alarmes qui sont involontairement ignorées (voir Dehais et coll., 2014). L'élaboration d'un système intelligent évaluant si l'alarme est détectée, grâce aux mesures pupillaires, et la modulant dans le cas contraire permettrait d'optimiser les chances que l'alarme produise une RO. Le diamètre pupillaire est toutefois reconnu pour être affecté par plusieurs facteurs tels que la luminosité et la charge cognitive. Il est donc primordial d'étudier l'utilisabilité de la *PDR* comme indice de la RO auditive dans des contextes où de tels facteurs pourraient affecter sa validité avant de l'appliquer à des situations réelles non contrôlées.

Références

Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: Adaptive gain and optimal performance. Annual Review of Neuroscience, 28, 403–450. doi:10.1146/annurev.neuro.28.061604.135709

Dehais, F., Causse, M., Vachon, F., Régis, N., Menant, E., Tremblay, S. (2014). Failure to detect critical auditory alerts in the cockpit: evidence for inattentional deafness. Human Factors, 56, 631–644. doi:10.1177/0018720813510735

Hughes, R. W., Vachon, F., Jones, D. M. (2005). Auditory attentional capture during serial recall: violations at encoding of an algorithm-based neural model? Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 31, 736–749. doi:10.1037/0278-7393.31.4.736

Schröger, E., 1997. On the detection of auditory deviations: a pre-attentive activation model. Psychophysiology 34, 245–257. http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02395.x.

Sokolov, E. N. (1963). Perception and the conditioned reflex. Pergamon Press: Oxford, UK.

Steiner, G. Z., & Barry, R. J. (2011). Pupillary and event-related potentials as indices of the orienting reflex. Psychophysiology, 48, 1648–1655. doi:10.1111/j.1469 8986.2011.01271.x

Vachon, F., Hughes, R.W., Jones, D.M., 2012. Broken expectations: violation of expectancies, not novelty, captures auditory attention. J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn. 38, 164–177. http://dx.doi.org/10.1037/a0025054.