

Psychologie Cognitive et Psychophysique (3)

Pr. Claude Bonnet
Université Louis Pasteur (Strasbourg 1)
Faculté de Psychologie et des
Sciences de l'Education
bonnet@ipb.u-strasbg.fr

1

III Temps de réaction et chronométrie mentale

2

Toute réponse à une stimulation implique nécessairement un délai temporel entre le début de la stimulation et le moment de la réponse : *temps de réaction*.

La problématique du traitement de l'information s'est inspirée, un siècle après, des travaux de Donders (1868) pour faire un large usage de la mesure de ces temps de réaction.

Le *temps de réaction* (TR) est la durée qui s'écoule entre le début de la présentation d'une stimulation et le début de la réponse comportementale donnée à cette stimulation. Cette réponse comportementale peut être définie par une consigne donnée au sujet d'expérience. Celle-ci consiste le plus souvent en un appui sur un bouton.

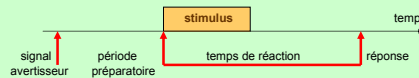
Hypothèse générale : plus un traitement est complexe, plus il y aura d'étapes de traitement et donc plus long sera le temps de réaction.

Cependant, de nombreux facteurs influencent le temps de réaction.

3

Principes de la mesure d'un temps de réaction

Temps de Réaction Simple (TRS) Dans les tâches de *temps de réaction simple* (TRS), on présente au sujet un stimulus, un éclair lumineux par exemple, et sa tâche est de signaler le plus rapidement possible quand il a perçu la présence de ce stimulus. La réponse est le plus souvent donnée au moyen d'une pression sur un bouton réponse. D'essai en essai, le stimulus peut être toujours le même ou bien varier.



Le TRS varie en fonction de la durée de la période préparatoire (anticipation du moment d'apparition du stimulus). Il est difficile d'éviter les réponses anticipées.

Sur les Temps de Réaction, consulter l'ouvrage de Luce (1986)

4

Temps de Réaction Go – No Go Le stimulus prend 2 valeurs et le sujet ne doit répondre qu'à une seule le plus rapidement possible. Le principe d'un essai est analogue à celui d'un TRS. L'avantage méthodologique du Go – No Go est qu'il permet en particulier de savoir si le sujet fait des erreurs (fausses alarmes ou omissions).

Temps de Réaction de Choix (TRC) Le stimulus a plusieurs valeurs et le sujet plusieurs réponses possibles entre lesquelles il doit, le plus rapidement possible choisir. Le principe d'un essai est analogue à celui d'un TRS. L'avantage méthodologique du TRC est qu'il permet en particulier de savoir si le sujet fait des erreurs d'anticipation (i.e. répondre avant le traitement du stimulus).

5

III.1 Temps de Réaction et Traitement de l'Information

Le modèle de Donders propose une simple additivité de la durée des étapes de traitement.

Stimulus → t1 → t2 → t3 → t4 → Réponse

TRS = t1 + t4	347 ms	t1 = étape sensorielle de détection t2 = étape de discrimination perceptive t3 = étape de choix décisionnel t4 = étape motrice d'exécution
TRGnG = t1 + t2 + t4	395 ms	
TRC = t1 + t2 + t3 + t4	441 ms	

Le modèle suppose que t1 et t4 ne sont pas affectés par la tâche.

Estimation de la durée t2 = 395 – 347 = 48 ms

Estimation de la durée t3 = 441 – 395 = 46 ms

Miller & Low (2001, JEPHPP) vérifient au moyen d'enregistrements électrophysiologiques (EMG) la constance de la durée de la phase d'exécution motrice (t4 ≈ 230 ms).

Par différence, la durée de t1 = 117 ms.

6

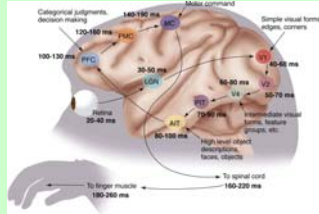
Procédure Go – No Go

Dans la procédure Go – No Go, le sujet ne doit répondre qu'à une éventualité du stimulus et s'abstenir de répondre à une (ou à des) autre(s).

Un exemple chez le singe : des images saisies dans des magazines sont présentées brièvement à l'animal qui doit répondre le plus rapidement possible si et seulement si l'image contient un animal.

Rappel : la procédure Go – No Go permet un traitement de la précision dans le cadre de la TDS

Simon Thorpe & Michèle Fabre-Thorpe: Fast Visual Processing and its implications in *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks* (2nd ed.), M. A. Arbib, ed., MIT Press, 2002.

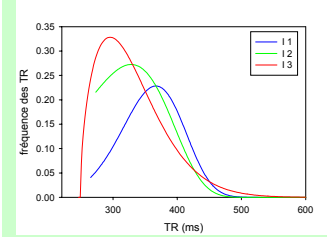
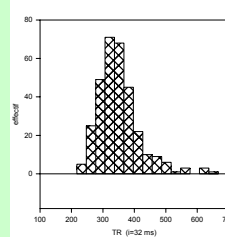


Distribution des temps de réaction

La distribution hypothétique des TR ne peut pas être symétrique. Elle comporte une limite inférieure et pas de limite supérieure. On dit qu'elle est en \acute{u}

Exemple d'histogramme de TR

Fonctions continues ajustées pour 3 intensités du stimulus

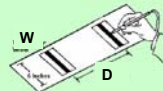


Facteurs affectant le TR

Loi de Hick (1952) : le TRC augmente linéairement avec le logarithme (de base 2) du nombre d'éventualités stimulus-réponses

$$TRC = b + a \log_2(N)$$

Loi de Fitts (1950) : le Temps de Mouvement augmente avec la largeur des cibles (W) et avec leur distance (D)



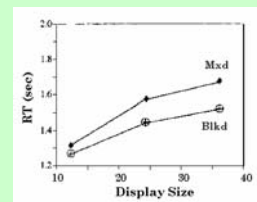
$$TM = b + a \log_2(2D / W)$$

L'entraînement des sujets réduit les TR et diminue leur variabilité. Il réduit l'effet du nombre d'éventualités.

9

Blocs purs – Blocs mixtes

Dans expérience en TRS comportant plusieurs intensités du stimulus, celles-ci peuvent être présentées en blocs purs d'essais ou bien varier d'un essai à l'autre (blocs mixtes).



Blough, P.M. (1991). Selective attention and search images in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 17, 292-298.

Vreven, D. & Blough, P.M. (1998). Searching for one or many targets: Effects of extended experience on the runs advantage. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 24, 98-105.

10

III.2 Temps de Réaction et Intensité : la loi de Piéron

Cattell le premier a montré en utilisant des Temps de Réaction Simple (TRS) diminue selon une fonction négativement accélérée de l'intensité lumineuse d'un stimulus (Cattell, 1886).

Piéron (1914, 1920) : équation pour décrire ce phénomène, équation qui a reçu le nom de *loi (ou fonction) de Piéron*. Elle peut s'écrire ainsi :

$$TRS = (\beta I^{-\alpha}) + t_0$$

où TRS est le temps de réaction en millisecondes, β un paramètre dépendant des unités, α l'exposant de la fonction, I l'intensité de la stimulation et t_0 le temps de réaction asymptotique.

Cette fonction s'ajuste de manière satisfaisante aux résultats dans toutes les modalités sensorielles. En principe, les paramètres α et t_0 sont caractéristiques d'une modalité sensorielle donnée. En fait, le second paramètre se révèle aussi sensible à des facteurs décisionnels.

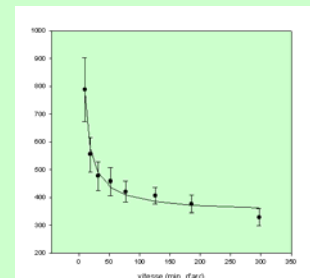
11

Fonction de Piéron Temps de Réaction

Le Temps de Réaction (TR) diminue comme une fonction de puissance de l'intensité de la stimulation

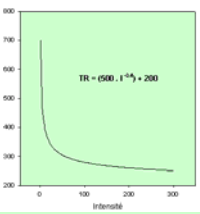
La Fonction de Piéron s'écrit :

$$TR = (\beta \cdot I^{-\alpha}) + t_0$$



12

L'utilisation des temps de réaction comme mesure de la sensibilité repose d'une part sur les principes de Cattell (cf. plus bas) et d'autre part sur un grand nombre d'arguments empiriques. Parmi ces derniers, il y a le fait que les TR dans de nombreuses recherches varient comme d'autres mesures de la sensibilité en fonction de l'intensité des stimuli.

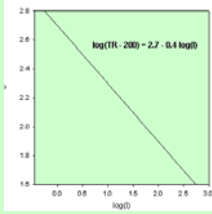


$$TRS = (\beta I^{-\alpha}) + t_0$$

La fonction de Piéron qui est une fonction de puissance peut être transformée en une droite :

$$\log(TR - t_0) = \log(\beta) - \alpha \log(I)$$

Il faudra répéter la procédure des moindres carrés pour différentes valeurs de t_0 jusqu'à trouver le meilleur ajustement.



Principes de Cattell (1902)

- 1) The smaller the difference between two sensations, the greater the difference required to be perceived it.
- 2) When differences require equal times for discrimination, the discrimination is equally difficult, and the differences are equal for consciousness

13

Pour une même tâche, la rapidité de la réponse va dépendre d'un grand nombre de facteurs. Parmi ceux-ci, certains vont avoir des effets sur les processus sensoriels de traitement de l'information, et d'autres sur les "stratégies" de décision du sujet.

Nous avons montré (Pins & Bonnet, 1996) que la même loi s'appliquait à la mesure des temps de réaction de choix. L'exposant de la fonction n'est pas affecté par la tâche, mais le temps de réaction asymptotique (t_0) augmente.

15

Parallélisme des TR : étapes motrices

On peut mesurer le TR à différents moments de l'exécution du geste de réponse. Dans cet exemple, le sujet doit indiquer en levant le bras le plus rapidement possible le côté d'apparition d'un stimulus lumineux (TRC) qui peut prendre différentes intensités.

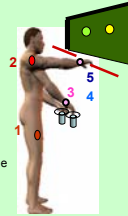
EMG fémoral (1)

EMG deltoïde (2)

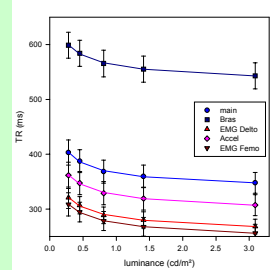
Accélération du poignet (3)

Relâchement de la clé (4)

Coupeure d'un rayon infrarouge (5) le bras en position horizontale.



Chacun de ces indices varie comme une fonction de Piéron de l'intensité lumineuse. Comme le montre la figure, l'exposant des fonctions est identique (les fonctions sont parallèles), mais les 5 activités se succèdent dans le temps.

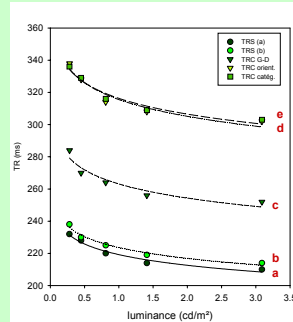


Bonnet & Gerloviski, non publié

14

En règle générale, toutes choses égales par ailleurs, le temps de réaction augmentera avec la complexité de la tâche.

Exemple d'une expérience de Pins & Bonnet (1996). Cinq tâches ont été proposées aux mêmes sujets pour les mêmes 5 intensités lumineuses du stimulus.



- (a) TRS à un stimulus lumineux apparaissant au hasard à gauche ou à droite d'un point de fixation (incertitude spatiale)
- (b) TRS à barre lumineuse inclinée de +45° ou de -45°
- (c) TRC au côté d'apparition (gauche ou droite) du stimulus lumineux
- (d) TRC à l'orientation (+45° -45°) d'un stimulus lumineux
- (e) catégorisation (animal-véhicule) de dessins lumineux. Dans chaque condition les stimuli étaient présentés à différents niveaux de luminance.

16

Dans les 5 conditions, les TR diminuent selon une fonction de Piéron de l'intensité lumineuse avec un exposant identique.

Le TR moyen (ou le TR asymptotique) augmente avec la complexité de la tâche.

La tâche (c) conduit à des TRC plus longs que les TRS correspondants (a).

La tâche (d) conduit à des TRC plus longs que la tâche (c) en raison de la correspondance arbitraire entre le stimulus et la réponse.

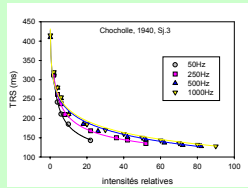
La tâche (e) implique un traitement cognitif de catégorisation.

17

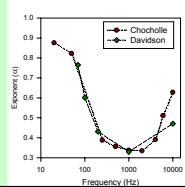
Loi de Piéron dans différentes modalités sensorielles

18

Loi de Piéron en audition



Pour des sons purs, à fréquence constante, le TR diminue comme une fonction de Piéron de l'intensité.
L'exposant de la fonction varie avec la fréquence.



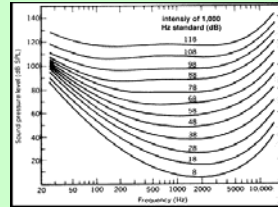
Exposants des fonctions de Piéron

Hz	Chocholle	Hz	Davidson
20	0.87	70	0.76
50	0.82	100	0.60
250	0.39	200	0.43
500	0.34	1000	0.33
2000	0.33		
4000	0.39		
6000	0.51		
10.000	0.63	10.000	0.47

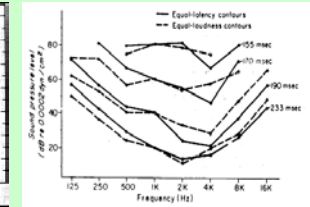
Courbes d'isonomie

La sonie est l'intensité perçue d'un son. Elle varie avec l'intensité physique et avec la fréquence du son. Des courbes d'isonomie sont des fonctions qui montrent l'égalité apparente des sons pour différentes fréquences. Elles peuvent être obtenues par une méthode d'égalisation ou une méthode de jugement des grandeurs. Si les principes de Cattell sont valides, alors on doit pouvoir les obtenir avec des mesures de temps de réaction. Sur la figure de gauche sont présentés des courbes d'isonomie « idéales ». Sur la figure de droite, les résultats de Pfingst et al. (JASA, 1975) comparent les courbes expérimentales d'isonomie (equal-loudness) avec des courbes d'isochronie (equal-latency) Sans être parfaites (cf. Luce, 1986) les deux types de courbes sont très voisines l'une de l'autre.

Isonomie avec méthode d'égalisation

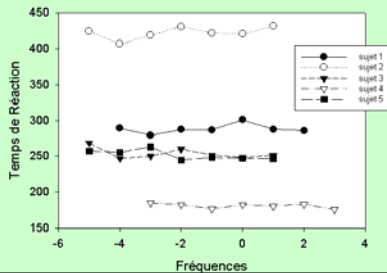


Isonomie avec temps de réaction



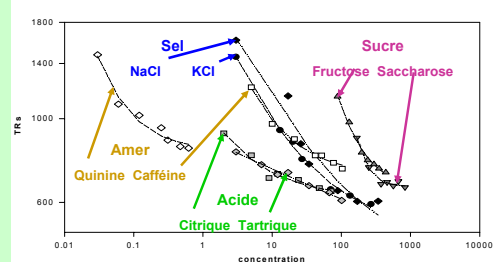
Le temps de réaction est une mesure indirecte de l'intensité subjective des sons (sonie)

Si la sonie de sons de différentes fréquences est égalisée, le temps de réaction ne varie plus avec la fréquence.



Goût

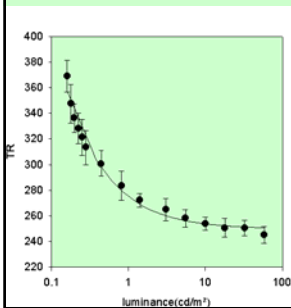
Les paramètres de la fonction de Piéron sont voisins pour des substances appartenant au même groupe, au moins pour les sels, les sucres et les acides.



Bonnet et al., 1999, Physiology & Behavior

Vision

Une seule fonction de Piéron peut s'ajuster de manière statistiquement satisfaisante aux données concernant la relation entre TR et luminance du stimulus.

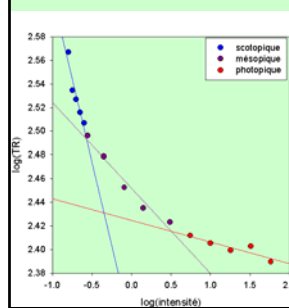


Dans cette expérience de Pins & Bonnet (1997), la luminance variait de 0,16 à 58 cd/m².

Question : l'exposant de la fonction de Piéron varie-t-il selon que la vision est scotopique, mésopique ou photopique ?

La réanalyse des mêmes données montre que l'exposant diminue quand on passe d'un régime à l'autre :

Scotopique → Mésopique → Photopique



Tous les stimuli sont supraliminaux. On remarque que l'existence de ces trois fonctions est mieux mise en évidence par une présentation en coordonnées logarithmiques.

En vision, la même fonction de Piéron s'applique aux résultats psychophysiques, aux latences des potentiels évoqués visuels -Vassilev et al. (2002) *Vision Research*, 42, 851-864 – et à la mesure unitaire des potentiels des cellules rétinienne - Donner K (1989) *Visual Neuroscience*, 3, 39-51.

Conclusion

La loi de Piéron s'applique à toutes les modalités sensorielles. L'exposant varie d'une modalité à l'autre.