

Psychologie Cognitive et Psychophysique (5)

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

1

IV Les échelles de sensation

2

L'expérience sensorielle mesurable ne se limite pas aux seuils. Nos sensations augmentent avec l'intensité des stimuli. Comment ? De la même manière dans toutes les modalités sensorielles ?

La mesure des sensations à des niveaux supraliminaire a de vastes applications, non seulement en recherche :

- intensité d'une douleur aiguë ou chronique
- intensités d'un goût ou d'une odeur (problème d'optimum)
- degré de confort, d'agrément ou de désagrément, plaisir et déplaisir etc.

3

En psychophysique, on tente de construire des **échelles psychophysiques** qui reflètent la variation des 'sensations' correspondant aux variations des phénomènes physiques qui en sont la source.

La construction de telles échelles s'appelle l'échelonnage (*scaling*). Les méthodes utilisées sont très diverses. Certaines sont fondées sur des mesures de discrimination dont on dérive des échelles, d'autres sur les temps de réaction, et enfin demandent directement au sujet de porter des jugements sur l'intensité des stimuli, ou d'autres effets qu'ils provoquent (cf. Bonnet, 1986).

En physique, on construit des échelles de mesure des différents phénomènes (échelles de longueur, de température etc.). Classiquement (Stevens, 1951), on distingue plusieurs classes d'échelles selon leurs propriétés :

- Échelles nominales
- Échelles ordinales
- Échelles d'intervalle
- Échelles de rapport

4

Les **échelles nominales** consistent à classer des événements, des objets en catégories en théorie mutuellement exclusives. Ces classes peuvent être simplement juxtaposées, sans présenter entre elles une structure particulière, ou bien présenter des relations d'inclusion. Ainsi, les zoologistes cherchent à classer sur des critères explicites tous les animaux en familles, genres, espèces...

Dans les **échelles ordinales**, il existe en plus une relation d'ordre entre les éléments et en conséquence une nécessaire transitivité de ces relations:
si $a < b$ et $b < c$ alors $a < c$

5

Les **échelles d'intervalle** qui possèdent (ou doivent posséder) les propriétés des échelles précédentes ont en plus une propriété quantitative. La **distance** (différence) entre les unités affectées à chaque niveau de l'échelle ont un sens. Alors que dans une échelle ordinaire, l'ordre d'arrivée des coureurs ne dit rien sur la distance qui les sépare à l'arrivée, dans une échelle d'intervalle cette distance (ou différence de temps) a une signification. L'exemple typique des échelles d'intervalle en physique est l'échelle des températures (Celsius ou Fahrenheit). L'**unité** définie pour chacune est une différence. Elle est arbitraire puisque $1^{\circ}\text{C} \neq 1^{\circ}\text{F}$. Il existe cependant une relation linéaire entre ces deux échelles :

$$F = 32 + 1.8C$$

Mais le zéro de chacune de ces deux échelles est arbitraire. Aucune de ces deux échelles ne possède un zéro absolu puisqu'il existe des températures négatives. En conséquence, s'il est licite de dire qu'il fait 10°C (ou F) de plus aujourd'hui qu'hier, cela n'a pas de sens de dire que 20° est deux fois plus chaud que 10° .

6

Dans les **échelles de rapport**, l'existence d'un zéro absolu rend licite la comparaison des rapports entre les niveaux de l'échelle. Ainsi l'échelle des longueurs est une échelle de rapport. Que les longueurs soient mesurées en centimètres en pouces ou en toute autre unité, le rapport entre deux longueurs sera indépendant du choix de cette unité.

7

Méthodes d'échelonnage

- Loi et Fonction de Weber et Loi de Fechner
- Loi et Fonction de Stevens
- Loi et Fonction de Piéron

8

IV.1 Échelles psychophysiques de discrimination

9

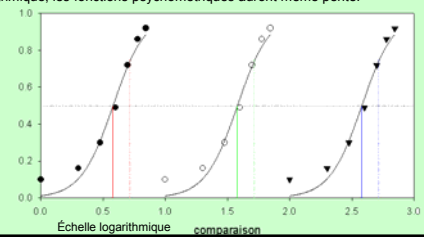
Loi de Weber

La **loi de Weber** (1834) stipule que le seuil différentiel (Sd) croît proportionnellement à la valeur de l'étalon (E).

$$Sd = w \cdot E \leftrightarrow w = Sd / E$$

W est appelé le rapport de Weber.

Si la loi de Weber est vérifiée, le seuil différentiel croît proportionnellement à la valeur de l'étalon. Cette propriété résulte du fait que la pente de la fonction psychométrique de discrimination diminue quand la valeur de l'étalon augmente. Lorsque la loi de Weber est valide, si l'échelle des valeurs du stimulus de comparaison (et du stimulus étalon) est logarithmique, les fonctions psychométriques auront même pente.



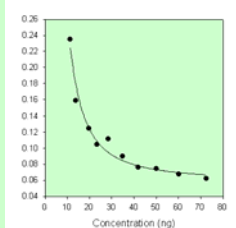
10

Fonction de Weber

Lorsque l'on prend en considération toute l'étendue dynamique des intensités d'un stimulus, cette loi n'apparaît généralement pas valide. On observe le plus souvent que le rapport de Weber diminue quand l'intensité augmente, alors qu'il devrait rester constant. Une fonction, qui sera appelée **fonction de Weber**, s'ajuste généralement aux résultats sous la forme (Guilford, 1954) :

$$W = (\beta I^{-\alpha}) + w_0$$

où W est le rapport de Weber, I l'intensité du stimulus étalon (ou mieux le PES correspondant), β un paramètre d'ajustement, α l'exposant de la fonction et w_0 la valeur asymptotique du rapport de Weber.



Ci-contre les résultats d'une expérience de mesure de seuils différentiels olfactifs. Une fonction de Weber s'ajuste de manière satisfaisante aux résultats avec les paramètres suivants :

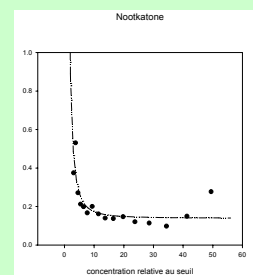
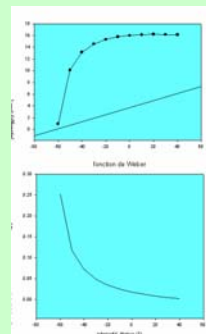
$$W = (10.3 C^{-1.7}) + 0.06$$

La loi de Weber n'est clairement pas valide ici.

Telle qu'elle la Fonction de Weber est bien une mesure d'échelonnage qui montre comment la *discriminabilité* (relative) varie avec l'intensité du stimulus (étalon).

11

Fonction de Weber



12

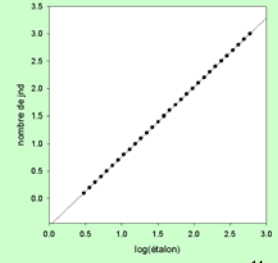
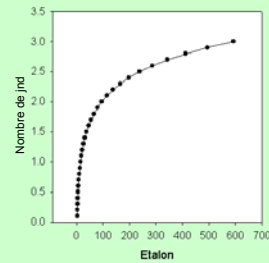
Loi de Fechner

La loi de Fechner est fondée sur deux axiomes : 1) la validité de la loi de Weber, et 2) l'égalité subjective des *jnd*. Il pose donc que $\Delta\psi = k (\Delta I / I)$ où $\Delta\psi$ est l'unité de changement de la sensation, $(\Delta I / I)$ le rapport de Weber et k le coefficient de proportionnalité. L'équation se réécrit : $(\Delta\psi / \Delta I) = k/I$. Comme il est plausible d'admettre que ψ et I sont des variables continues, on obtient l'équation différentielle : $d\psi/dI = k/I$ qui par intégration donne la fonction psychophysique (loi de Fechner) :

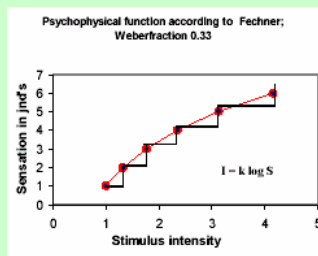
$$\psi = k \ln I + c$$

13

Dans l'exemple ci-dessous, on a obtenu une fonction vérifiant la loi logarithmique de Fechner en cumulant le nombre d'échelons différentiels (*jnd*) (figure droite); si les valeurs de l'étalon sont transformées en logarithmes, la fonction est une droite).



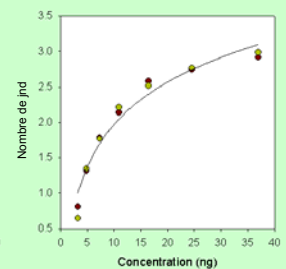
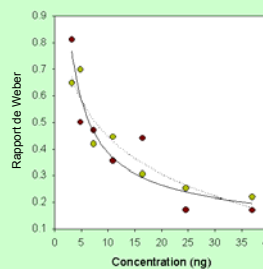
14



Pour Fechner, l'intensité de la sensation est mesurée par le nombre de *jnd* sur une échelle d'intervalle.

15

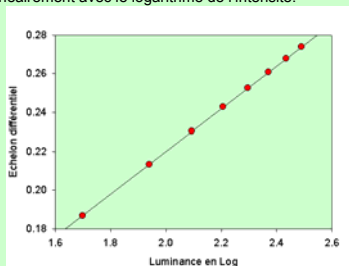
Lorsque la loi de Weber n'est pas vérifiée, on peut cependant construire une échelle de Fechner en cumulant les échelons différentiels obtenus. Ci-dessous les résultats d'une expérience portant sur deux sujets. Des seuils différentiels olfactifs ont été mesurés pour une large marge de concentrations pour un odorant différent de celui de la précédente expérience.



Échelle de discrimination chez l'animal

Seuil différentiel = unité de discriminabilité

Sommers (1972) mesure les seuils différentiels d'intensité lumineuse chez le pigeon entre 50 et 300 cd/m^2 . Il constate que ces échelons différentiels augmentent linéairement avec le logarithme de l'intensité.



17

Sommers, D. 1. The scaling of visual intensity differences by pigeons. M.A. Thesis, University of Maryland, College Park, 1972.

L'hypothèse générale selon laquelle la sensation croît comme le logarithme de l'intensité stimulatrice se retrouve y compris dans des échelles physiques.

Exemple l'intensité sonore est exprimée en décibels (dB), c'est-à-dire sur une échelle logarithmique de pressions acoustiques.

L'échelle musicale de hauteur tonale est aussi une échelle logarithmique.

18

IV.2 Les échelles de jugement

19

Échelles de cotation (catégorie)

La catégorisation est une activité cognitive par laquelle nous réduisons la variabilité des exemplaires. Elle est dépendante des capacités discriminatives.

Catégoriser consiste le plus souvent à découper une dimension réelle continue en classes discrètes.

Elle permet de construire des échelles nominales, exemple les catégories nosographiques

Elle peut aussi permettre la construction d'échelles d'ordre et d'échelles d'intervalle.

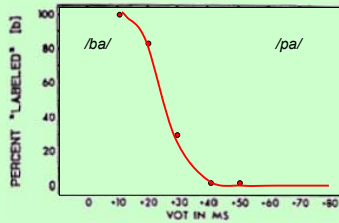
20

Catégorisation et Discrimination

Exemple de catégorisation : les 7 couleurs de l'arc-en-ciel



Autre exemple : phonèmes et VOT (voice onset time ou temps de voisement)



21

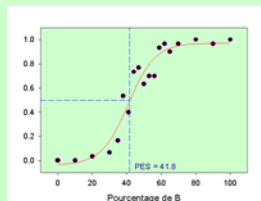
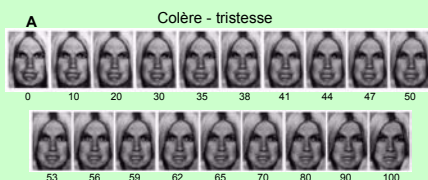
Exemple : l'expression faciale des émotions



Facial Expressions	Anger	Disgust	Fear	Happy	Neutral	Sad	Surprise
Anger	85%	14%	0%	0%	0%	0%	0%
Disgust	17%	72%	0%	11%	0%	0%	0%
Fear	0%	0%	97%	3%	0%	0%	0%
Happy	0%	0%	0%	99%	2%	0%	0%
Neutral	0%	0%	0%	1%	69%	23%	7%
Sad	0%	0%	0%	2%	26%	72%	0%
Surprise	0%	0%	6%	0%	2%	0%	92%
Total correctly identified							84%

22

Ekman P. Friesen WV. *Unmasking the face*. Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall, 1975.



23

Limites de traitement

George Miller (1956) *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*. *Psychological Review*, 63, 81-97.

S'appuyant sur la théorie de l'information pour quantifier l'information, Miller démontre les limites de la capacité à la traiter dans différents systèmes sensoriels.

Exemple : discrimination de fréquences de sons purs en fonction du nombre de sons à catégoriser (entre 2 et 14).

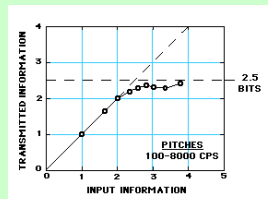
Information transmise (H) en bits (binary digits):

$$H = \log_2 A$$

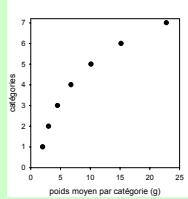
(A = nombre d'éventualités)

On ne peut catégoriser plus de 5 à 6 stimuli sans erreur.

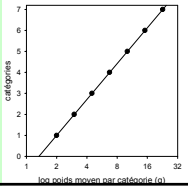
$$\log_2(x) = \log_{10}(x) / \log_{10}(2)$$



Échelles de catégorie ou de cotation



La procédure expérimentale pour construire une **échelle de catégorie** (ou de **cotation**) consiste à demander aux sujets d'attribuer à chaque niveau du stimulus une valeur sur une échelle en 5, 7 ou 9 points. On peut (ou non) préciser aux sujets que l'intervalle entre catégories doit être subjectivement égal. Les stimuli seront des petites boîtes dont les sujets doivent catégoriser les poids des plus légers (1) aux plus lourds (7). Un grand nombre de poids différents sont présentés entre 1 g et 28 g. Les résultats moyens sont présentés dans les figures de gauche.



La fonction psychophysique reliant les niveaux du stimulus aux catégories est une fonction logarithmique :

$$C = a \log(N) + b$$

Pour l'exemple : $C = 5.7 \log(N) - 0.7$

25

Loi du jugement comparatif Thurstone

Thurstone (1927, 1955) a développé le modèle de Fechner dans le cas de l'évaluation de stimuli complexes dont les valeurs physiques ne sont pas connues (ex. l'excellence de l'écriture, l'importance des crimes etc...). Il suppose l'existence d'échelles psychologiques. Quand un stimulus est présenté, il est représenté par un point sur cette échelle unidimensionnelle. La localisation de ce point est déterminée par un processus discriminatif. D'un essai à l'autre, il y a des fluctuations aléatoires de cette localisation de sorte qu'à chaque stimulus correspond une distribution normale appelée *dispersion discriminative*. La moyenne de cette distribution sera la valeur scalaire du stimulus et son écart-type, l'unité de mesure sur une échelle d'intervalle.

26

Imaginons la situation suivante (reprise de Baird & Noma, 1978). Un conseil municipal a à choisir les investissements à réaliser pour rendre sa ville attractive. Quelles sont les « facilités » les plus importantes entre : école, hôpital, maison, appartement, usine. Une étude est menée sur une large population. A chaque sujet on présentera tous les couples d'items en lui demandant d'indiquer pour chacun le plus important. C'est la **méthode de comparaison par paires**. Les fréquences de choix seront portées dans une matrice indiquant pour chaque comparaison la probabilité que le stimulus en ligne soit préféré au stimulus en colonne.

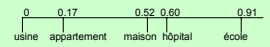
	école	hôpital	maison	appartement	usine
école	-	0.60	0.65	0.75	0.85
hôpital	0.40	-	0.60	0.65	0.65
maison	0.35	0.40	-	0.70	0.70
appartement	0.25	0.35	0.30	-	-
usine	0.15	0.35	0.30	0.40	-

27

Transformation des probabilités en écarts réduits (z de la loi normale)

	école	hôpital	maison	appartement	usine	moyenne	scalaire
école	0	0.25	0.39	0.67	1.04	0.47	0.91
hôpital	-0.25	0	0.25	0.39	0.39	0.16	0.60
maison	-0.39	-0.25	0	0.52	0.52	0.08	0.52
appartement	-0.67	-0.39	-0.52	0	0.25	-0.27	0.17
usine	-1.04	-0.39	-0.52	-0.25	0	-0.44	0

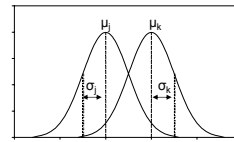
Échelles d'intervalle construite



Les valeurs scalaires de l'échelle d'intervalle sont la transformation linéaire des moyennes des valeurs z sur une échelle de 0 à 1.

Explications.

La différence (intervalle) de deux items est calculée selon le modèle du Cas V de Thurstone. Chacun donne lieu à une distribution normale. Leur différence est égale à la différence de leurs moyennes



$\mu_k - \mu_j$. Comme on ne connaît pas les unités, on opère une transformation en valeurs de z :

$$z_{ij} = (\mu_k - \mu_j) / \sigma_{ij}$$

où

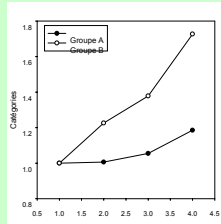
$$\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_j^2 + \sigma_k^2 - 2r_{jk} \sigma_j \sigma_k}$$

28

Échelles de catégorie et TDS

Les échelles de catégorie pour des intensités ne fournissent pas d'indices séparés pour la sensibilité et pour la décision. Comme il a été vu plus haut à propos des échelles de certitude (qui sont des échelles de catégorie), il est possible d'utiliser la méthodologie de la TDS pour traiter certaines échelles de catégorie.

Exemple : catégorisation de la douleur pour 4 niveaux de pression tactile. L'exemple ci-dessous est inspiré de ceux de d'Ellermeier & Westphal (1995). Supposons que les échelles de catégorie obtenues pour deux groupes de sujets (A et B) soient ceux du graphique ci-dessous. Ils tendraient à nous faire conclure que les sujets du Groupe A sont moins sensibles à la douleur que ceux du Groupe B :



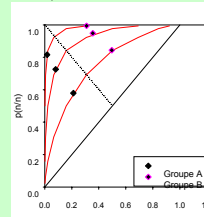
Le niveau 1 d'intensité sert de « Bruit ». On va maintenant s'intéresser aux fréquences de réponses correspondant aux comparaisons 1-2, 1-3, 1-4. Dans le tableau ci-dessous, on a porté pour chaque groupe les probabilités conditionnelles correspondant aux fausses alarmes ($p(1/n)$) et aux détections correctes ($p(n/n)$). Le second tableau (en bas) présente les valeurs de z correspondant à ces probabilités.

	Groupe A		Groupe B	
	$p(1/n)$	$p(n/n)$	$p(1/n)$	$p(n/n)$
1-2	0.2119	0.5793	0.4960	0.8438
1-3	0.0808	0.7258	0.3557	0.9485
1-4	0.0179	0.8159	0.3095	0.9945

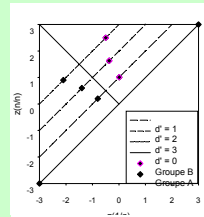
	$z(1/n)$	$z(n/n)$	$z(1/n)$	$z(n/n)$
1-2	-0.8	0.2	0.01	1.01
1-3	-1.4	0.6	-0.37	1.63
1-4	-2.1	0.9	-0.5	2.5

29

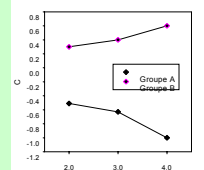
En calculant les d' , on observe qu'ils sont identiques pour les deux groupes et pour une comparaison donnée (respectivement 1, 2, 3). Seuls diffèrent les critères de réponse. Les sujets du Groupe B faisant plus de « fausses alarmes » que les sujets du Groupe A.



Courbes ROC de ces résultats

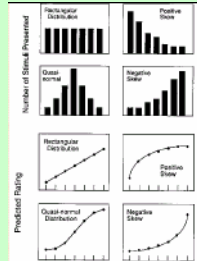
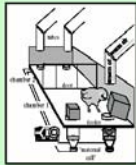


Dans ces résultats, la différence des jugements de catégorie n'est pas une différence de sensibilité à la douleur. Les sujets du Groupe B ont une propension plus grande à rapporter de la douleur que les sujets du Groupe A.



Discrimination de taille chez le poussin : effets de contexte

Les jugements de catégorie sont très sensibles au contexte expérimental.
Sarris (2001)



31

Échelles subjectives

Reprenant une idée de Plateau (18**), Stevens et son groupe ont développé un ensemble de méthodes d'échelonnage fondée sur des jugements directs des sujets. Dans cette approche, le sujet est considéré comme un instrument de mesure dont la sensibilité dépend de l'attribut physique et du système sensoriel concerné. De plus, les jugements quantitatifs sont la conséquence de cette mesure et peuvent être ordonnés selon le type d'échelle (nominale, ordinale, intervalle, rapport). Pour Stevens (1975), la loi empirique reliant l'intensité d'un stimulus (S) à sa grandeur perçue (R) est une loi de puissance (loi de Stevens) :

$$R = \gamma C^{\alpha}$$

Pour une transformation logarithmique, la fonction devient linéaire :

$$\log(R) = \alpha \log(S) + \log(\gamma)$$

Plusieurs méthodes ont été proposées :

- Méthode d'estimation des grandeurs (*magnitude estimation*)
- Méthode d'estimation de rapports (*ratio estimation*)
- Méthode d'égalisation intermodalaire (*crossmodality matching*)
- Méthodes de production

32

MÉTHODE D'ESTIMATION DES GRANDEURS

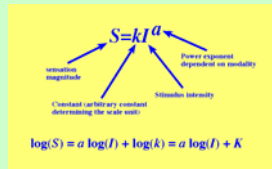
(Magnitude estimation)

Principe : demander au sujet de donner un nombre pour chaque intensité du stimulus qui « représente » la grandeur de sa sensation.

Si une sensation paraît double d'une autre, le nombre doit être deux fois plus grand. On suppose que l'échelle obtenue est une échelle de rapport.

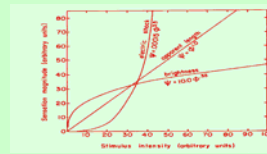
Méthodes :

- Estimation de grandeur
- Estimation de rapports
- Production de rapports
- Egalisations intermodales (*cross-modality matching*)



33

Fonctions de Stevens

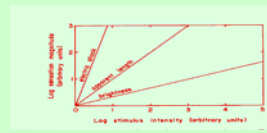


Fonctions de puissance pour 3 continua

La fonction qui s'ajuste aux résultats d'estimation de grandeur est une fonction de puissance dite *Fonction (ou loi) de Stevens* :

$$R = c I^{\alpha}$$

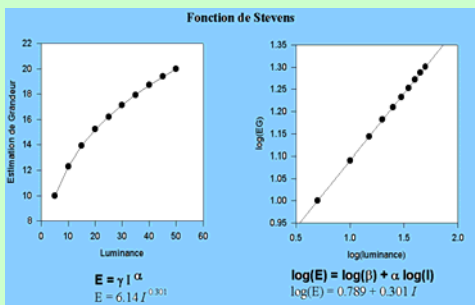
L'exposant serait caractéristique de la modalité sensorielle et lié aux capacités discriminatives et/ou à l'étendue dynamique de la modalité



Transformations logarithmiques

34

Fonction de Stevens Méthode d'estimation des grandeurs



35

La méthode d'égalisation intermodalaire (*crossmodality matching*)

Au lieu d'utiliser des jugements numériques comme dans les méthodes précédentes, on propose aux sujets d'égaliser l'intensité de la sensation d'une modalité (par exemple intensité lumineuse) avec celle d'une autre modalité de réponse). Dans un premier temps, Stevens et ses collaborateurs ont utilisé comme modalité de réponse la force de la pression sur un dynamomètre. Si celle-ci a l'avantage d'être continue, elle a l'inconvénient d'avoir deux limites (inférieure et supérieure) et rien ne garantit que le jugement de force soit une fonction linéaire de la force musculaire.

Il paraît plus avantageux d'utiliser comme modalité de réponse la longueur d'une ligne tracée par le sujet. L'exposant de la fonction de Stevens pour l'estimation de la longueur de lignes présentées visuellement vaut 1 (fonction linéaire).

36

Chacune des deux modalités suit la loi de Stevens :

$$R_a = \beta_a X_a^\alpha \quad \text{et} \quad R_b = \beta_b X_b^{\alpha'}$$

L'intensité perçue de la modalité A sera alors :

$$R_a = (\beta_a / \beta_b) 1/\alpha \cdot R_b \alpha'/\alpha$$

Exemple : Estimer les intensités perçues d'une série de lumières (X) au moyen de longueur de lignes. La fonction reliant la longueur perçue d'une ligne (Rb) à sa longueur physique (Xb) est par exemple :

$$R_b = \beta_b X_b^{\alpha'} = 0 X_b^1$$

Elle passe par l'origine ($\beta=0$)

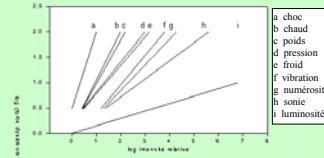
L'intensité perçue des lumières (Ra) sera alors simplement donnée par :

$$R_a = \beta_a X_a^\alpha$$

37

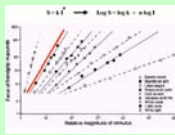
Exposants 'typiques' de la fonction de Stevens

Sonie	0.7	pression acoustique 3000Hz
Vibration	1.0	amplitude 60 Hz doigt
Luminosité	0.6	amplitude 250 Hz doigt
Luminosité	0.3	5° obscurité
Luminosité	0.5	source ponctuelle
Longueur	1.0	ligne
Surface	0.7	carre
Saturation	1.7	mélange rouge-gris
Goût	1.3	sucrose
Goût	1.4	sel
Goût	0.8	saccharine
Odeur	0.6	heptane
Froid	1.6	contact métal bras
Chaud	1.6	contact métal bras
Rugosité	1.5	toile émeri
Empan digital	1.3	épaisseur blocs
Pression cutanée	1.1	pression sur la peau
Choc électrique	3.5	courant sur doigts



38

Déterminants de la valeur d' α

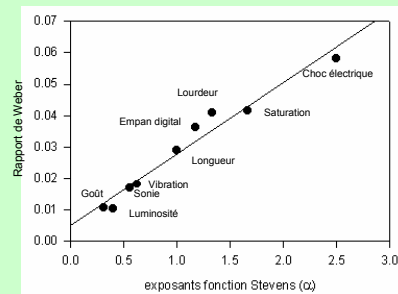


Variation de l'exposant avec l'étendue dynamique

39

Relation entre rapport de Weber et exposant de Stevens

Link 1992, p. 235



40

Commentaires

Pour Stevens, la loi de puissance reflète le processus physiologique de transduction sensorielle. Cependant, la réponse des récepteurs ou celle des neurones n'est pas toujours une fonction de puissance de l'intensité stimulatrice, mais bien souvent une fonction logarithmique de cette intensité. De plus, surtout dans le cas de l'utilisation d'une méthode d'estimation numérique des grandeurs, les résultats résultent d'un jugement conscient de la part des sujets et de ce fait sont ouverts à de nombreux biais de réponse. Les méthodes d'estimation des grandeurs ne contiennent pas de modèle (ni de procédure) pour séparer les effets de sensibilité et de critère de réponse.

De nombreux facteurs affectent la valeur de l'exposant des fonctions de puissance. Parmi eux citons :
 - la marge (*range*) des valeurs du stimulus utilisées (Poulton, 1989; Teghtsoonian, 1971). Ici il faut distinguer deux notions. La marge ou **étendue expérimentale** (*range*) est la différence entre l'intensité maximale et l'intensité minimale utilisées dans l'expérience. L'**étendue dynamique** d'un système sensoriel est l'étendue des intensités auxquelles le système est sensible. Elle est définie par la différence entre l'intensité maximale (S_{max}) et l'intensité minimale (S_{min}), opérationnellement par la différence entre le seuil supérieur et le seuil inférieur. R. Teghtsoonian (1973) a montré que l'exposant de la fonction de Stevens variait inversement avec le logarithme de l'étendue expérimentale des intensités utilisées. Le choix d'une marge expérimentale dans l'étendue dynamique a aussi un effet.

- La position du stimulus *modulus* dans la série : exposant plus faible si le modulus est à une extrême que s'il est au milieu (Poulton, 1989)

41

Une seule loi psychophysique ?

La 'sensation' est opérationnalisée par des mesures de discrimination, des jugements de catégorie, des jugements de grandeur ou des temps de réaction.

Est-ce que ces différentes mesures reflètent la même fonction ?

Trois lois sont des lois de puissance

$$\text{Loi de Weber : } W = (\beta I^{-\alpha}) + w_0$$

$$\text{Loi de Stevens : } R = \gamma I^\alpha$$

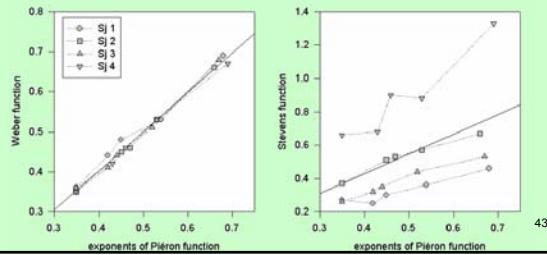
$$\text{Loi de Piéron : } TR = (\lambda I^{-\alpha}) + t_0$$

Question: l'exposant α est-il le même avec des trois méthodes ?

42

Le modèle de Norwich prédit le même exposant pour les fonctions de Weber, de Piéron et de Stevens. Les stimuli utilisés sont des sons purs de 70, 100, 200, 1000 et 10000 Hz. Quatre sujets entraînés ont pris part à l'expérience. La prédiction est validée pour la comparaison entre les fonctions de Weber (discrimination) et de Piéron (TR). La validation est moins convainquante pour la comparaison avec les résultats d'une méthode d'estimation de grandeur où apparaissent de grandes différences interindividuelles.

(Davidson, 1990)



Conclusions

Les techniques comportementales de la psychophysique permettent, dans le cadre de la problématique du traitement de l'information, d'élucider des mécanismes cognitifs.

Les réponses psychophysiques sont, par nature, composites.

Ce sont des réponses globales résultant d'une multiplicité de traitements préalables : sensoriels, cognitifs, décisionnels, tous affectés de fluctuations aléatoires.

Les activités cérébrales-et-mentales hypothétiques inférées à partir des relations psychophysiques sont validables par le recours aux méthodes des neurosciences.

Complémentarité entre les méthodes psychophysiques (comportementales) et les méthodes de neuroimagerie.

Neuroimagerie (TEP, IRMf) : structures impliquées

Psychophysique : résultat global des traitements