

Chapitre 3

La psychoacoustique

3.1 La psychoacoustique : entre physique et psychologie

3.1.1 Les différentes disciplines relatives à l'étude du son

L'acoustique

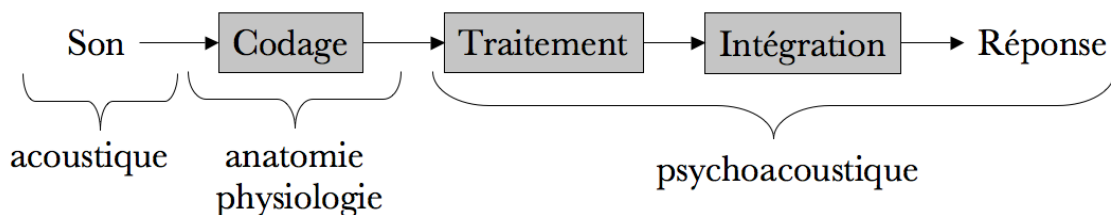
L'*acoustique* est une branche de la physique qui étudie les phénomènes sonores et éventuellement des phénomènes infra- ou ultrasonores. Elle étudie la nature de la vibration sonore, la propagation du son, les conditions susceptibles de favoriser la transmission ou au contraire de l'empêcher, selon que la source est désirable ou nuisible. Le mot *acoustique*, comme substantif, est aussi utilisé pour désigner l'ensemble des caractéristiques d'une salle, caractéristiques qui déterminent la propagation et la réflexion (ou l'absorption) des ondes sonores et, par là, la qualité de la réception dans cette salle. Comme adjectif, *acoustique* signifie « qui relève du domaine sonore ».

L'acoustique physiologique

Intermédiaire entre l'acoustique et la psychoacoustique, l'*acoustique physiologique* est l'étude des mécanismes de transmission du signal à travers l'oreille, de sa transformation en influx nerveux, de l'ensemble des liaisons nerveuses entre l'organe externe et le système central, le cerveau.

La psychoacoustique

La *psychoacoustique* est la branche de la psychophysique qui étudie le sens de l'ouïe, définit, qualifie et quantifie les sensations sonores, mises en rapport avec les stimuli (les sons) qui les provoquent.



3.1.2 Sensation, perception et cognition

Les frontières entre la sensation, la perception, et la cognition sont floues, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas très bien définies. Il est difficile de déterminer précisément où finit la perception et où commence la cognition par exemple. Néanmoins, pour des raisons traditionnelles et pratiques, on définit comme :

Sensation : une expérience immédiate et directe qui évoque une réponse (l'objet est « dur », « froid », « bleu », « sucré »). Les sensations sont produites par des stimuli physiques simples (transfert d'énergie). Elles sont associées à la structure, à la physiologie et aux récepteurs. On distingue huit catégories sensorielles principales : visuelle (lumière), auditive (son), olfactive (odeur), gustative (saveur), thermique (chaleur et froid), tactile (pression), algique (douleur), spatiale (déplacement et position).

Perception : les tâches qui requièrent des relations de jugements (« est-ce que A est devant ou derrière B ? »). Les tâches perceptives ne sont pas nécessairement conscientes.

Cognition : les tâches qui demandent d'identifier, de mémoriser, ou de catégoriser.

3.1.3 Du stimulus à la sensation

Il est important de distinguer la variable physique externe (Φ) de la variable psychologique interne (Ψ).

Dans le « monde » physique Φ

Le **stimulus** est un agent, externe ou interne, capable de provoquer la réaction d'un système excitable. En psychoacoustique, le stimulus est le *son*, c'est-à-dire le signal acoustique, au moment où il atteint l'organe sensoriel, en général le tympan.

Les **grandeurs d'excitation du stimulus** (variable physique externe Φ) sont des *paramètres* indépendants et mesurables *définissant le stimulus* et qui s'expriment par des chiffres et des unités physiques.

Exemples : 90 dB, 1000 Hz, 300 ms, ...

Dans le « monde » psychologique Ψ

La **sensation** est un phénomène psychologique par lequel une stimulation externe ou interne a un effet modificateur spécifique sur l'être vivant et conscient ; c'est un état ou changement d'état à prédominance *affective* (plaisir, douleur) ou *représentative* (perception). La sensation est la *réponse du sujet* à un stimulus.

Les **grandeurs de sensation** (variable psychologique interne Ψ) sont les *composantes de la sensation* que le sujet peut décrire plus ou moins précisément et qu'on peut relier à l'une ou l'autre des grandeurs d'excitation du stimulus. Elles s'expriment par des chiffres et des unités psychoacoustiques.

Exemples : 85 dBA, 500 mels 4 sonos, ...

Quelques exemples :

Domaine physique (unité)	Domaine psychologique (unité)
Pression sonore (μPa)	Sonie (sones, phones)
Fréquence (Hz)	Hauteur (mel, tons)
Masse (kg)	Lourdeur
Longueur d'onde lumineuse (nm)	Couleur
Température ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$)	Chaleur, froideur

3.1.4 L'étude des sensations par les méthodes de la psychophysique

À la frontière entre la physique, la biologie et la théorie des communications, la psychophysique étudie les relations entre la stimulation physique et la sensation qu'elle engendre chez l'humain. Elle comporte les trois étapes suivantes :

1. l'identification de la sensation
2. la recherche du stimulus qui provoque la sensation
3. la mesure de la sensation

1. Identification de la sensation

Puisque cette discipline compte avant toute chose sur la réponse du sujet (qu'elle soit verbale ou non), il est indispensable de s'assurer que la grandeur de sensation à mesurer est bien identifiée, bien nommée, que le nom de la perception évoque la même réalité pour le sujet et pour le chercheur. Dans certains cas, cela ne pose à peu près aucun problème, pour la sonie par exemple. Dans d'autres cas, on s'est rendu compte qu'il pouvait y avoir confusion, entre hauteur et timbre par exemple. Enfin, il y a des cas où le problème est très complexe, soit parce que le sujet, tout en exprimant une modification de la sensation est incapable de nommer l'aspect de la sensation qui a évolué, soit parce qu'il n'arrive pas à isoler une des dimensions de la sensation : par exemple dans les études sur la sensation du timbre, qui comporte plusieurs dimensions. Le chercheur doit alors utiliser des méthodes expérimentales qui mettront en évidence la dimension recherchée, sans que le sujet doive identifier clairement cette dimension.

En résumé, on peut distinguer deux types de sensations :

- des sensations **unidimensionnelles**, comme la hauteur, l'intensité et la durée ; avec ces grandeurs, il n'y a généralement pas de problème d'interférence entre les différentes grandeurs physiques – une exception notoire : l'influence de l'intensité sur la hauteur.
- des sensations **multidimensionnelles**, comme le timbre ; dans ce cas-ci, il y a possibilité de confusion entre hauteur et timbre, ou entre intensité et timbre notamment. Il faut alors essayer d'*isoler la dimension* qui nous intéresse.

2. Recherche du stimulus qui provoque la sensation

Chaque aspect de la sensation est-il relié à un aspect du stimulus et à un seul ? Autrement dit, peut-on être certain, en faisant varier un seul paramètre du stimulus, qu'un seul aspect de

la sensation sera modifié ? Ou inversement, est-il possible que des aspects différents du stimulus puissent avoir le même effet sur la sensation ? Chez certains théoriciens musicaux, cette question a été vivement débattue, à propos par exemple du « timbre » d'un son pur. Mais pour les psychoacousticiens, c'est chose établie depuis longtemps : les sensations sont interdépendantes et l'oreille n'est pas un instrument de mesure de stimulus, mais un organe à la recherche d'informations globales sur la source. Cependant, dans la plupart des cas, on observe qu'un des aspects de la sensation est corrélé de façon très marquée à un des paramètres du stimulus. L'étude du paramètre principal et de l'influence des autres paramètres apporte d'importantes informations sur le mode de fonctionnement du système auditif.

3. Mesure de la sensation

Il est d'expérience commune que la plupart des sensations auditives peuvent prendre plusieurs valeurs : « son faible » vs « son fort », « son grave » vs « son aigu ». Mais les techniques utilisées pour mesurer les grandeurs de sensation ne conviennent pas nécessairement à toutes. Par exemple, l'ajout d'un deuxième stimulus à un premier pourra faire augmenter la sonie (sensation de force sonore). Pour ce qui est de la sensation de hauteur par contre, la hauteur du deuxième ne s'ajoute pas à celle du premier pour donner une troisième hauteur résultat de l'addition des deux premières : le deuxième stimulus (à moins que sa fréquence soit très rapprochée de la première), crée une seconde sensation, localisée ailleurs sur l'échelle. C'est une sensation de position, et non de quantité comme la sonie. Enfin, il existe des sensations qui correspondent à une tâche de reconnaissance, d'identification : par exemple la perception des intervalles.

La méthode utilisée pour la mesure d'une sensation donnée devra donc convenir au type de cette sensation.

En résumé, on peut distinguer des sensations :

- de **quantité** : la sonie, reliée à l'intensité → « faible » vs « fort »
- de **qualité**, de **position** : la hauteur, reliée à la fréquence → « grave » vs « aigu »
- d' **identification** (sensations catégorielles) : les intervalles → « tierce » vs « quinte », le timbre → « rond » vs « brillant »

3.2 Les deux grandes approches de la psychoacoustique

Les objectifs de l'étude et de la mesure des sensations sont de plusieurs ordres :

1. pour mieux comprendre le *système auditif* (acquisition de connaissances générales),
2. pour la recherche *clinique*, l'étude et le traitement des dysfonctionnements de l'ouïe,
3. pour améliorer notre environnement acoustique (écologie sonore),
4. pour mieux comprendre les comportements ou les habitudes liées aux perceptions auditives.

Le premier et le quatrième de ces objectifs nous amènent à examiner deux approches possibles pour la recherche en psychoacoustique.

3.2.1 L'approche classique

selon S. S. Stevens (1906-1973), pionnier de la psychoacoustique

La première approche consiste à étudier le système auditif comme on le ferait pour n'importe quel système de communication : connaissant l'entrée [le stimulus] et la sortie [la réponse du sujet], on peut en déduire les caractéristiques propres du système auditif.

Entrée [stimulus] $\rightarrow$ Système auditif $\rightarrow$ Sortie [réponse du sujet : sensation]

Cette approche nécessite une bonne connaissance de l'anatomie, de la neurologie et de la physiologie. En établissant des relations entre stimulus et sensation, on peut déduire le mode de fonctionnement du système auditif, et cette connaissance mettra le chercheur sur une piste dans sa recherche anatomique et neurologique.

Exemple : Si on constate que pour augmenter la sonie par paliers égaux, on doit faire augmenter l'intensité du stimulus de façon logarithmique, on en déduira, selon cette approche, qu'il y a à l'intérieur du système auditif un mécanisme de transformation logarithmique.

Cette école de pensée implique donc une conception relativement passive du sujet par rapport à ses sensations ; relativement passive et non complètement passive car cette école reconnaît tout de même une certaine action du sujet sur la sensibilité de son système auditif : non seulement il peut, par l'apprentissage, devenir beaucoup plus sensible à un stimulus, mais il peut (volontairement ou non) modifier cette sensibilité. Cependant, selon cette approche, la relation stimulus $\leftrightarrow$ sensation est innée et reliée à l'anatomie même du système auditif.

3.2.2 L'approche du corrélé physique (R. M. Warren)

La seconde approche, celle du corrélé physique, suppose au contraire que la grandeur de la sensation telle qu'exprimée par le sujet dépend principalement de l'entraînement du sujet et de son expérience du comportement acoustique d'une source. Cette approche nécessite une bonne connaissance des sujets, de leurs antécédents, de leur culture, etc. C'est une conception plus active du sujet qui est à la recherche d'une information plus globale. Selon cette théorie, lorsqu'un sujet estime que la sensation a doublé, c'est qu'il évalue que quelque chose, dans le stimulus a doublé. La grandeur de la sensation ne serait donc pas nécessairement innée et universelle, elle dépendrait de l'indice utilisé par le sujet pour mesurer le stimulus. C'est donc cet indice, ce « corrélé physique » que doit mettre en évidence le chercheur.

Exemple : Si le sujet sait que l'octave correspond à un rapport de fréquences de 2, il sera influencé par cette connaissance quand il doit évaluer la sensation relative à des intervalles.

En résumé, quoique les deux théories cherchent également à mesurer les sensations, l'approche classique y cherche des informations sur les aspects anatomiques, neurologiques et physiologiques du système auditif tandis que les tenants de la théorie du corrélé physique y cherchent le comportement du sujet par rapport à la source, en supposant que la grandeur de sensation qu'il exprime dépend de son évaluation personnelle de la grandeur du stimulus.

Avantages et inconvénients des deux approches de la psychoacoustique

Approche classique (S. S. Stevens)

Pour : Bonne connaissance de certains mécanismes physiologiques reliés à des stimuli.

Contre : Extrême difficulté de faire des extrapolations à partir de données expérimentales relativement minces.

Exemple : Difficulté d'établir une échelle de sonie des sons purs à partir d'une projection obtenue de quelques fréquences.

Aussi, cette approche ne prend pas en compte le traitement "haut vers bas" de l'information (processus descendant – du cerveau vers les organes sensoriels périphériques).

Corrélé physique (R. M. Warren)

Pour : Approche globale qui fait qu'un sujet modifiera son comportement en fonction de la connaissance qu'il a de la source.

Exemple : La sensation de sonie doublée d'un son complexe est influencée par la connaissance que le sujet a d'un instrument de musique donné ou d'une voix donnée.

Contre : Difficulté de traitement des résultats expérimentaux sans avoir à sa disposition des outils d'analyse très sophistiqués.

3.3 La mesure des sensations auditives

Il y a deux principaux objectifs de mesure des sensations, chacune répondant à l'une des questions que se pose le psychoacousticien :

- à quoi le sujet peut-il répondre ?
- comment le sujet répond-il effectivement ?

À la première question (qu'on pourrait reformuler par : « quelles sont les valeurs de grandeurs d'excitation qui déclenchent une réponse ? »), on répondra par la recherche de la **faculté de discrimination du sujet**. À la seconde question, on répondra par la recherche d'**échelles subjectives**. Dans les deux cas, il s'agira d'associer une « grandeur d'excitation » à une « grandeur sensorielle ». La première est généralement facile à mesurer, la seconde cependant exige la participation du sujet, et le chercheur doit choisir une méthode de mesure capable à la fois de stimuler la coopération du sujet et d'éviter autant que possible le biaisage du sujet.

Le **biais** est défini comme un élément, ou un aspect de la méthode, susceptible de favoriser certaines réponses plutôt que d'autres, déformant en quelque sorte la véritable relation stimulus $\leftrightarrow$ sensation. Cela peut aussi être une tendance psychologique naturelle des sujets (confiance, méfiance). En effet, tel sujet plus enclin au risque détectera davantage de choses qu'un autre plus timoré.

Exemple 1 : Si on fait évaluer l'intensité perçue (sonie) par des chiffres et qu'on fixe les valeurs mathématiques à l'avance (de 1 à 100 par exemple), il se peut que certains sujets ne se sentant pas à l'aise avec cette échelle soient incapables de répondre correctement.

Exemple 2 : Certains participants à des expériences peuvent éprouver des difficultés à manipuler les appareils utilisés pour générer des stimuli, ce qui induit des résultats erronés.

3.4 Les types de méthodes de mesure

3.4.1 La méthode par ajustements

Le sujet ajuste un appareil ou système générateur de son en fonction d'une valeur de référence. Le sujet ajuste donc lui-même la grandeur d'excitation d'un stimulus, généralement présenté en alternance avec un autre stimulus fixe, de façon à exprimer sa sensation. Cette méthode a l'avantage d'intéresser le sujet par la participation active demandée.

Par contre, en plus de l'inconvénient du temps considérable exigé, si on doit soumettre un grand nombre de sujets à l'expérience, cette méthode requiert une certaine forme d'habileté et d'apprentissage, et présente de grands risques de *biais*. Ce biais dépendra de la grandeur qu'on donne au stimulus réglable au départ et du geste physique que doit faire le sujet. Il se peut en effet que la précision mesurée ne soit pas celle de la sensation auditive mais plutôt celle du mouvement de la main. Il faut donc procéder à plusieurs mesures, et modifier chaque fois l'orientation possible du biais.

Il peut également se produire un phénomène d'*hystérésis* se traduisant en une réponse différente en fonction du sens de la variation de la grandeur physique (en augmentant ou en diminuant).

3.4.2 La méthode par ajustements par va-et-vient

Avec cette méthode, le sujet a encore la possibilité d'agir sur la grandeur d'excitation du stimulus, mais sans pouvoir s'arrêter à une valeur fixe : il ne peut que changer le sens de la variation du stimulus. En enregistrant les valeurs prises par le stimulus, on obtient une courbe oscillant de part et d'autre de la valeur correspondant à la sensation que le sujet cherche à exprimer. Cette méthode, à part d'être un peu moins fatigante pour le sujet, a en général les mêmes avantages et désavantages que la précédente.

3.4.3 La méthode à stimulus constant

Dans ce type d'expérience (il en existe un grand nombre de variantes), le sujet n'a pas la possibilité d'agir sur les stimulus. Il doit seulement répondre à une question : « oui » ou « non », « pareil » ou « différent ». Alternativement, il donne une valeur chiffrée à sa sensation ou à la grandeur qui lui est soumise.

Les avantages de cette méthode sont d'éliminer l'intermédiaire du geste manuel et de permettre la participation simultanée de plusieurs sujets. Par ailleurs, avec cette méthode, la précision dépend du choix de la valeur des grandeurs physiques relatives au stimuli choisis. Certaines variantes, pour être précises, exigent un très grand nombre de réponses et deviennent fastidieuses pour les sujets. Les possibilités de biais viennent principalement de la façon dont la tâche est présentée au sujet, du choix des stimuli par le chercheur et de la motivation du sujet.

3.5 Les méthodes pour la détermination des seuils

Les tests de discrimination recherchent les seuils, absolus ou différentiels. Ce sont des valeurs *statistiques*.

3.5.1 Seuil absolu ou seuil différentiel

Le seuil absolu

Le seuil absolu, pour une grandeur sensorielle, est la plus petite valeur de la grandeur d'excitation à laquelle le sujet peut répondre. On répond à la question : « À partir de quelle grandeur du stimulus commence-t-on à percevoir ? »

Autrement dit, c'est la grandeur d'excitation juste suffisante pour provoquer une réponse de détection. Le seuil absolu est généralement établi par des méthodes par ajustements ou à stimulus constant.

Exemple : Le seuil absolu d'audition.

Le seuil différentiel

Le seuil différentiel est la plus petite différence de la grandeur d'excitation pour laquelle le sujet exprime une différence de sensation. On répond à la question : « À partir de quelle valeur commence-t-on à percevoir une différence entre deux stimuli ? »

Exemple : Le seuil différentiel de fréquence.

Quelle que soit la méthode utilisée, il est clair que pour établir un seuil, par rapport à une grandeur sensorielle, on devra garder les autres paramètres du stimulus constants. Cependant, il faudra faire cette recherche de seuil à plusieurs valeurs du ou des autres paramètres.

Exemple : Le seuil absolu d'audition s'obtient en modifiant l'intensité mais est fonction de la fréquence.

Les seuils différentiels peuvent être différents non seulement si les autres paramètres changent, mais ils peuvent aussi varier pour différentes valeurs de la grandeur observée. Enfin, une autre difficulté s'ajoute aux mesures de seuils différentiels : chaque paramètre physique du stimulus agit sur plusieurs grandeurs sensorielles, et il arrive, quand on se rapproche du seuil, que le sujet ne distingue plus très bien entre l'une ou l'autre. Il est possible par exemple qu'entre deux sons d'intensités très semblables, le sujet puisse détecter une différence, mais que du point de vue sensoriel, ce soit une différence de timbre plus qu'une différence de sonie qui lui ait permis cette détection.

Les seuils absolus peuvent être établis par l'une ou l'autre méthode d'ajustements, et par les méthodes de stimuli constants. Les seuils différentiels sont plus difficiles à obtenir par les méthodes d'ajustement. Lorsqu'on utilise la méthode de l'ajustement, le seuil sera établi comme la valeur moyenne de plusieurs ajustements. Avec la méthode d'ajustement par va-et-vient, on prendra la valeur médiane entre les extrêmes de la courbe.

Différentes méthodes par stimuli constants peuvent être utilisées. On présente au sujet des valeurs (ou des différences de valeurs) d'abord décroissantes puis croissantes de la grandeur d'excitation, et on choisit comme seuil la valeur pour laquelle le sujet a détecté le signal (ou la différence) dans 50% des cas.

3.5.2 La méthode des limites (Gustav Fechner)

Cette méthode consiste à présenter aux sujets plusieurs séries de stimuli, ascendantes et descendantes alternativement (optimum = 3 séries ascendantes [A] et 3 descendantes [D]).

Détermination du seuil absolu

On commence par une valeur bien en-deçà ou bien au-dessus du seuil. À chaque présentation successive, on change l'intensité du stimulus d'une petite quantité pour se rapprocher du seuil jusqu'à ce que la limite de la sensation soit atteinte. On présente en alternance des séries ascendantes et descendantes. Dès que le sujet entend le son dans une série ascendante, on arrête la série, et on recommence avec une série descendante, jusqu'à ce que le sujet n'entende plus.

Pour une série descendante, le seuil est la valeur située entre le dernier «oui» et le premier «non» du sujet, et l'inverse pour une série ascendante. Plus précisément, on utilise une moyenne des valeurs pour lesquelles le stimulus croise la frontière entre l'état non-déectable et l'état juste détectable.

Intensité du stimulus (dB)	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
10						O				
9		O				O				O
8		O				O				O
7		O		O		O				O
6		O		O	O	O		O		O
5	O	O		O	N	O	O	O		O
4	N	O	O	N	N	N	N	O	O	N
3	N	N	N		N		N	O	N	
2	N		N		N		N	N	N	
1	N		N		N		N	N	N	
0	N		N				N		N	
-1	N		N				N			
-2	N						N			
-3	N						N			
-4	N									
-5	N									
-6	N									
-7	N									
-8	N									
-9	N									
-10	N									

↑ Série ascendante
 ↑ Série descendante

← État juste détectable
 ← État non détectable

Les inconvénients de cette méthode (corrigés dans l'exemple) sont :

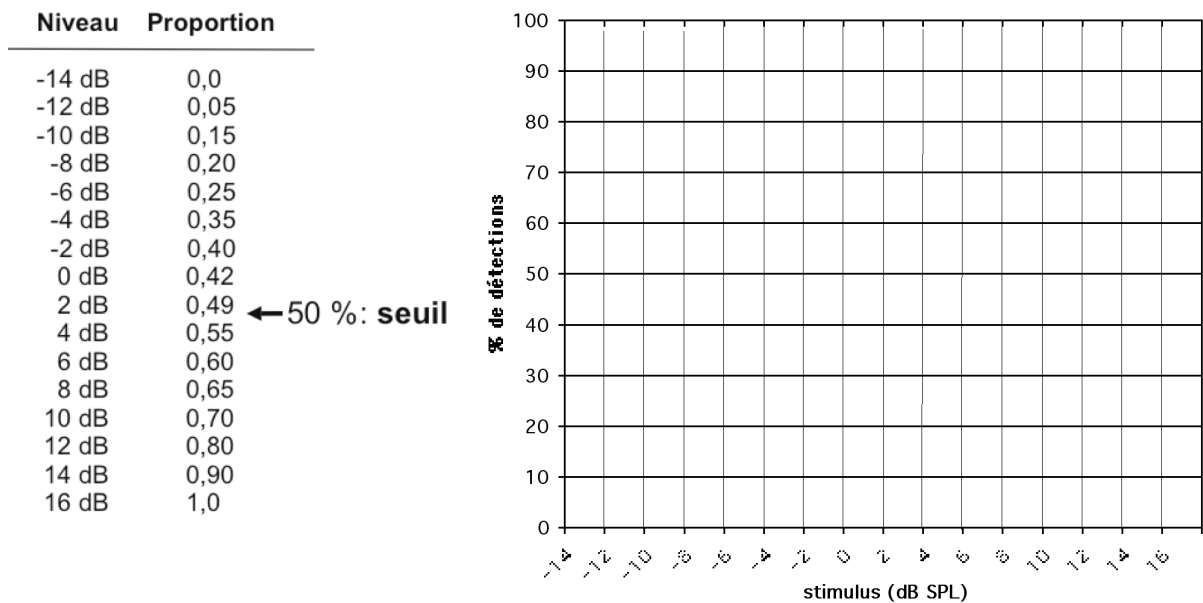
- **l'anticipation** : le sujet anticipe l'arrivée d'un stimulus à son seuil et rapporte que le changement a eu lieu, même s'il ne l'entend pas → diminue les valeurs de seuils ascendants et augmente les valeurs de seuils descendants.
- **l'habitation** : le sujet a tendance à répéter la même réponse, donc à continuer à donner la même réponse même si le seuil a été atteint → augmente les valeurs de seuils ascendants et diminue les valeurs de seuils descendants.

3.5.3 La méthode à stimulus constant

Dans le cas de la méthode à stimulus constant, les stimuli sont présentés non pas de façon régulière (par pas croissants ou décroissants d'une quantité donnée), mais de façon aléatoire (au hasard). Il faut aussi veiller à ce que les niveaux encadrent assez largement le seuil et à ce que le nombre de présentations soit le même pour chacun des niveaux. Un avantage de cette méthode est qu'elle permet de tester le sujet et sa fiabilité, en insérant un essai « blanc », c'est-à-dire « pas de signal ». Par exemple, pour mesurer le seuil différentiel de fréquence, on fait entendre au sujet des paires de sons de fréquences proches, et de temps à autre, on présente une paire de sons identiques. Un inconvénient de cette méthode est qu'elle est affectée par le biais des sujets.

Détermination du seuil absolu

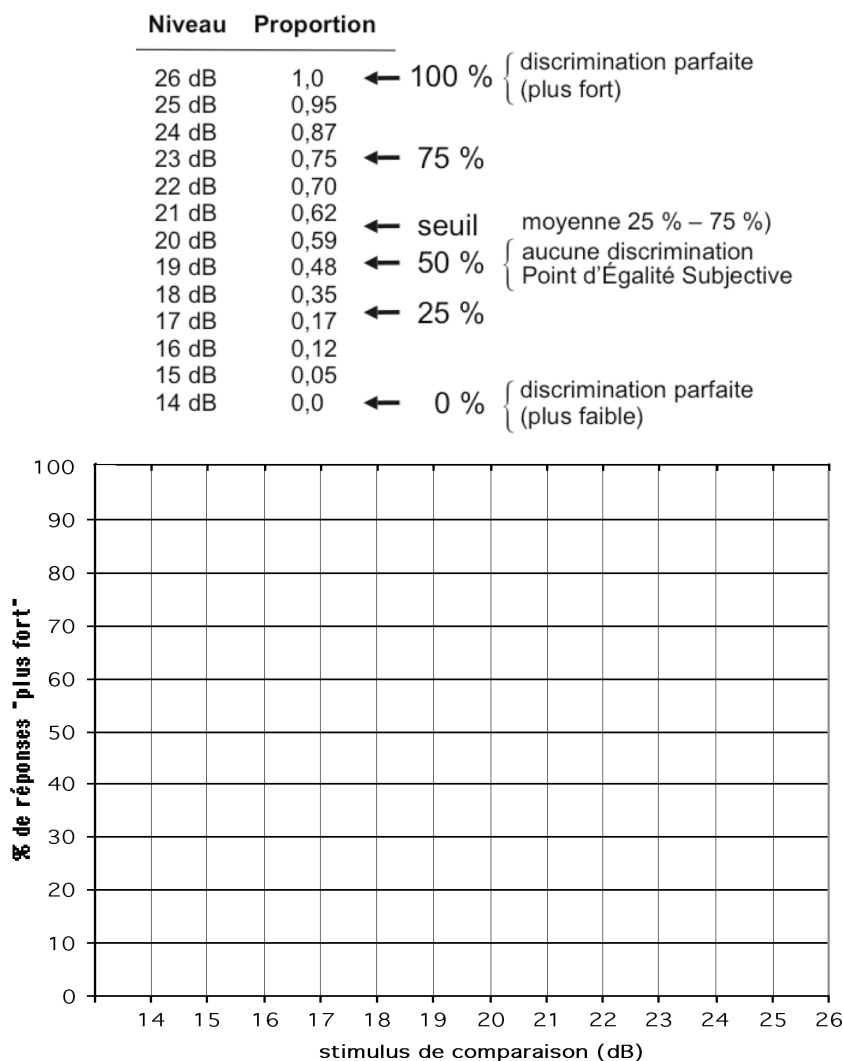
Pour déterminer le seuil absolu – ou seuil de détection – qui est aux environs de 0 dB, on présente aléatoirement des sons de niveaux d'intensité différents et situés entre, par exemple, -14 dB et +16 dB. Chaque niveau doit être présenté un même nombre de fois. S'il y a 16 niveaux d'intensité différents, on peut présenter chacun de ces niveaux 5 fois, pour un total de 80 essais. Puis, on calcule la proportion de réponses « oui, je l'entends » (vs « non, je ne l'entends pas ») pour chaque niveau. On obtiendrait par exemple les résultats présentés dans le tableau ci-dessous. Si on reporte sur un graphique le pourcentage de détections en fonction du niveau en dB, on obtient une courbe que l'on appelle **courbe psychométrique**. Le seuil correspond à la valeur du stimulus pour laquelle il y a 50% de détections. Cette valeur du stimulus n'est pas nécessairement une valeur qui a été présentée parmi les essais. De la courbe psychométrique, on peut donc déduire la valeur du seuil.



Exercice : Reportez les valeurs du tableau sur le graphique et déduisez la valeur du seuil absolu en déterminant le niveau en dB correspondant à un pourcentage de détection de 50 %.

Détermination du seuil différentiel

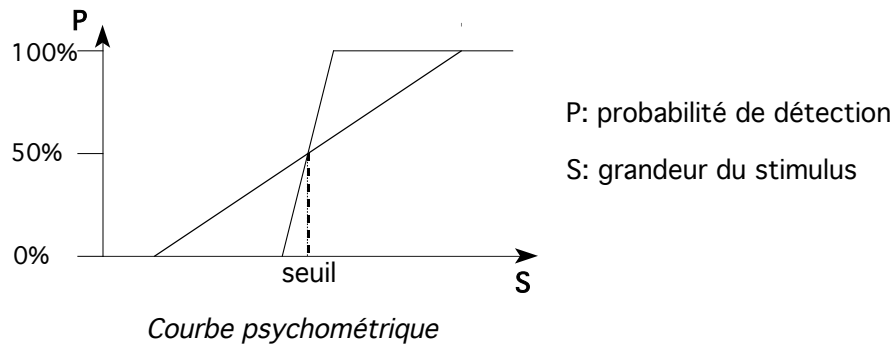
La méthode est semblable pour le seuil différentiel, mais dans ce cas, on présente un son de référence et un son de comparaison. Le sujet doit alors répondre si le son « plus fort » ou s'il ne l'est pas. On choisit des valeurs qui encadrent largement le seuil et on les présente aléatoirement un grand nombre (égal) de fois. Ci-dessous sont présentées des données hypothétiques qui seraient obtenues pour un seuil différentiel par rapport à un son de 20 dB et pour des niveaux de sons de comparaison situés entre 14 et 26 dB.



Le point à 50% correspond à « aucune discrimination » (une fois sur deux le sujet a dit que le son était « plus fort »). C'est le *point d'égalité subjective* (PES). Le seuil différentiel correspond à la moyenne des points à 25% et 75%. Le point à 25% correspond à la valeur à mi-chemin entre une discrimination parfaite (0%) et aucune discrimination (PES). Le point à 75% correspond à la valeur à mi-chemin entre une discrimination parfaite (100%) et aucune discrimination (PES).

La courbe psychométrique

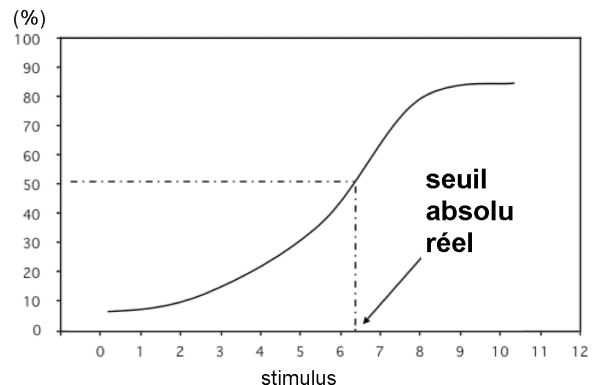
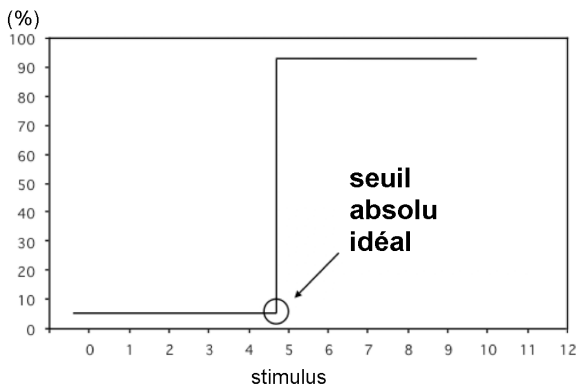
La courbe psychométrique est le graphique la performance du sujet, représentant typiquement, en fonction de la valeur du stimulus, le nombre de fois qu'un signal a été détecté par rapport au nombre total de présentations du stimulus. Elle représente donc, en abscisse les différentes valeurs prises par le stimulus (grandeurs d'excitation) et en ordonnée la probabilité de détection du signal.



Cette courbe résulte de l'interprétation des résultats de détection de seuil. Le seuil absolu est considéré comme la valeur où le sujet obtient 50 % de détection.

La courbe psychométrique est souvent plus significative que la seule valeur de seuil car il est rare qu'un individu obtienne une performance de 100 % au-delà du seuil, et 0 % en-deçà du seuil. La pente de la courbe psychométrique est très instructive car elle indique le *degré de difficulté* (l'incertitude) de la perception mesurée :

- plus elle est *inclinée*, plus l'incertitude ou la difficulté est grande (le seuil est peu marqué),
- plus elle est *abrupte*, plus le sujet se rapproche d'une perception « oui » / « non » et plus la tâche est simple pour le sujet.



3.5.4 La théorie de la détection du signal (Green & Swets, 1974)

La théorie de la détection du signal vise à éliminer l'influence du biais en le provoquant. Elle est similaire à la méthode du stimulus constant pour la présentation des stimuli mais le signal à détecter n'est plus toujours présent ! Si le signal à détecter (par exemple une différence de hauteur entre deux sons présentés successivement) n'est présent qu'une fois sur deux, il y a quatre réponses possibles :

Présence	Réponse	Résultat
Oui	Oui	Détection juste (<i>hit</i>)
Oui	Non	Non-détection (<i>miss</i>)
Non	Oui	Fausse alarme
Non	Non	Réjection juste

Si le niveau du signal est clairement au-dessus du seuil, on obtiendrait :

Réponse	Oui	Non	Nombre d'essais
Signal présent	DJ : 50 (1)	ND : 0 (0)	50
Signal absent	FA : 0 (0)	RJ : 50 (1)	50
Totaux	50	50	100

Si le niveau du signal est exactement à la valeur du seuil et qu'aucun biais n'intervient dans le processus, on obtiendrait :

Réponse	Oui	Non	Nombre d'essais
Signal présent	DJ : 25 (0,5)	ND : 25 (0,5)	50
Signal absent	FA : 25 (0,5)	RJ : 25 (0,5)	50
Totaux	50	50	100

À biais constant, si le niveau s'éloigne du seuil, la sensibilité augmente, le nombre de détections justes (DJ) augmente et le nombre de fausses alarmes (FA) diminue.

En général, il est impossible de savoir si le sujet est biaisé vers l'une ou l'autre réponse, puisque lui-même ne le sait pas, la plupart du temps. Examinons ce que deviendraient les réponses si le chercheur, en donnant une consigne, biaisait volontairement le sujet

- soit vers le *oui* → *Aussitôt que vous avez un doute, répondez par « oui »*
- soit vers le *non* → *Ne répondez « oui » que si vous êtes absolument certain*

On obtiendrait, par exemple, les tableaux suivants, pour deux niveaux de signal (niveaux de difficulté) différents :

Niveau de signal I (plus loin du seuil)

	Biais vers le « Oui »		Biais vers le « Non »	
Réponse	Oui	Non	Oui	Non
Signal présent	DJ : 45 (0,9)	ND : 5 (0,1)	DJ : 35 (0,7)	ND : 15 (0,3)
Signal absent	FA : 15 (0,3)	RJ : 35 (0,7)	FA : 5 (0,1)	RJ : 45 (0,9)
Totaux	60	40	40	60

Le pourcentage pour chaque type de réponse est indiqué entre parenthèses. Ainsi, dans cet exemple, dans le cas du biais vers le « Oui », il y a 90 % de détections justes – DJ (45/50 = 0,9) et 30 % de fausses alarmes – FA (15/50 = 0,3).

Niveau de signal II (plus faible que I, plus proche du seuil)

Réponse	Biais vers le « Oui »		Biais vers le « Non »	
	Oui	Non	Oui	Non
Signal présent	DJ : 35 (0,7)	ND : 15 (0,3)	DJ : 25 (0,5)	ND : 25 (0,5)
Signal absent	FA : 20 (0,4)	RJ : 30 (0,6)	FA : 10 (0,2)	RJ : 40 (0,8)
Totaux	55	45	35	65

Quand le niveau se rapproche du seuil (niveau II – cf. tableau ci-dessus), et toujours dans le cas du biais vers le « Oui », le pourcentage de détections justes tombe à 70 % (35/50 = 0,7) et le pourcentage de fausses alarmes monte à 40 % (20/50 = 0,4).

Comme une réponse est correcte si c'est une détection juste (DJ) ou une réjection juste (RJ), on peut exprimer mathématiquement la proportion de réponses correctes par la moyenne des proportions de détections justes et de réjections justes :

$$P(c) = \frac{P(DJ) + P(RJ)}{2}$$

ou alors, comme la somme de la proportion de réjections justes et de la proportion de fausses alarmes est égale à 1 :

$$P(c) = \frac{P(DJ) + (1 - P(FA))}{2}$$

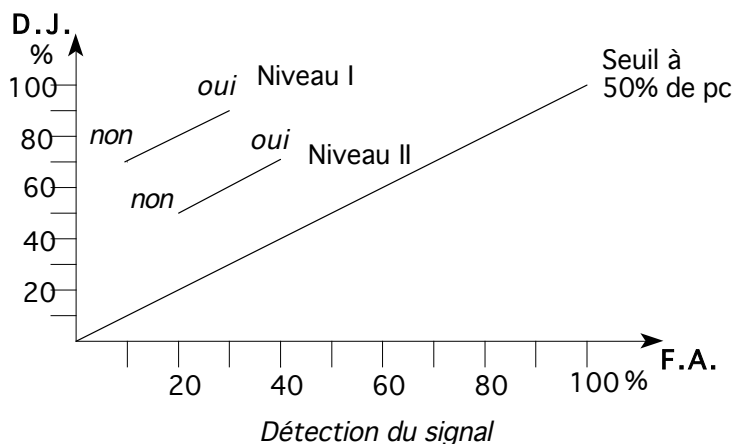
Cette proportion est une mesure de la *sensibilité*. Appliquant cette formule aux résultats obtenus plus haut, on obtient :

Niveau I	Biais vers le oui : $P(c) = [0,9 + (1-0,3)] / 2 = 0,8$ Biais vers le non : $P(c) = [0,7 + (1-0,1)] / 2 = 0,8$
Niveau II	Biais vers le oui : $P(c) = [0,7 + (1-0,4)] / 2 = 0,65$ Biais vers le non : $P(c) = [0,5 + (1-0,2)] / 2 = 0,65$

On peut remarquer que la proportion de réponses correctes est *la même peu importe le biais* ! L'avantage de la théorie de la détection du signal est donc qu'on peut « séparer » le *biais de réponse* du sujet – sa tendance à dire plus souvent « oui » même s'il n'est pas certain de sa réponse, par exemple – et sa *sensibilité* – sa « vraie » capacité de détecter ou discriminer.

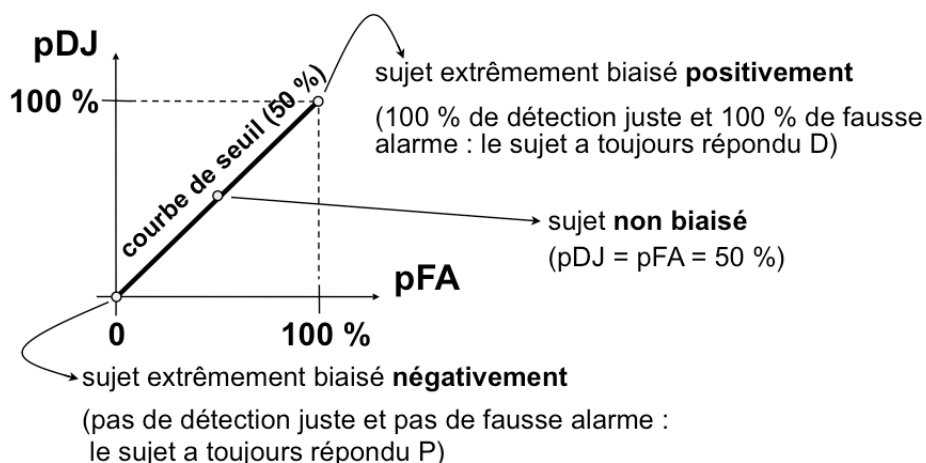
Courbe ROC

La courbe ROC (*Receiver Operator Characteristic*) est obtenue en portant en abscisse le pourcentage de fausses alarmes (FA) et en ordonnée le pourcentage de détections justes (DJ). Si on reporte les valeurs des tableaux donnant les réponses pour un signal de niveau I et un signal de niveau II (voir pages précédentes), on obtiendrait le graphique suivant :



Ces courbes séparent l'influence du biais et celle de la sensibilité : un changement de biais va faire monter ou descendre le rapport DJ/FA sur la ligne non/oui («biais vers non»/«biais vers oui»), tandis qu'un changement de sensibilité va générer une nouvelle courbe (droite plus basse = moins grande sensibilité, droite plus haute = plus grande sensibilité). La surface sous la courbe est donc une bonne mesure de la sensibilité du sujet au niveau considéré, indépendamment du biais.

Tous les sujets qui se retrouvent sur une droite parallèle à la droite 50 % ont le même seuil (la même sensibilité) quel que soit leur propre biais (pour un niveau de difficulté donné). Ces sujets ne diffèrent que par leur attitude individuelle.



Taux de biais

Si les résultats d'un sujet présentent beaucoup de fausses alarmes, cela veut dire que le sujet est biaisé positivement. Si les résultats d'un sujet présentent beaucoup de non-détections, cela veut dire que le sujet est biaisé négativement. On peut donc déterminer le taux de biais en soustrayant la moyenne des proportions de ND de la moyenne des proportions de FA :

$$\text{Taux de biais} = \text{moyenne P(FA)} - \text{moyenne P(ND)}$$

$$\text{Taux de biais} > 0 \Rightarrow \text{biais positif}$$

$$\text{Taux de biais} < 0 \Rightarrow \text{biais négatif}$$

Limite inférieure de P(c)

Si le niveau est si bas en-dessous du seuil (signal non détectable) et que le sujet répond « Non » à tous les essais, on obtiendra le tableau de réponses suivant :

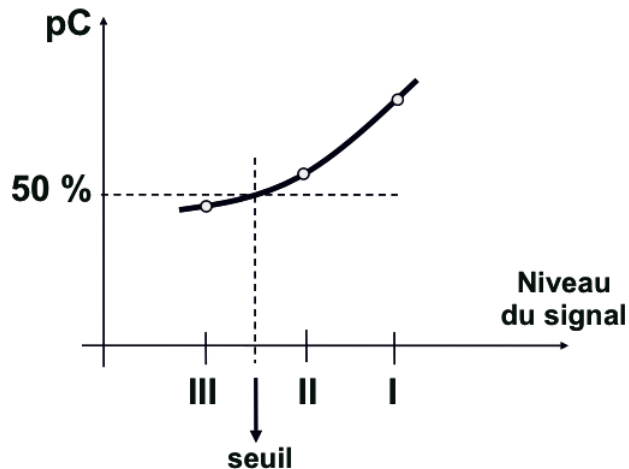
Réponse	Oui	Non	Nombre d'essais
Signal présent	DJ : 0 (0)	ND : 50 (0,5)	50
Signal absent	FA : 0 (0)	RJ : 50 (0,5)	50
Totaux	0	100	100

La proportion de réponses correctes vaudrait alors :

$$P(c) = \frac{P(DJ) + P(RJ)}{2} = \frac{0 + 0,5}{2} = 0,25 = 25\%$$

Courbe psychométrique

Une courbe psychométrique peut être dérivée de la proportion de réponses correctes P(c) en tenant compte des différentes valeurs du stimulus. La P(c) va normalement se situer entre 25% et 100%. Le seuil pourra être fixé à 50 % ou à 75 % de proportion de réponses correctes.



Variante de la méthode TDS

L'inconvénient majeur de cette méthode basée sur la théorie de la détection du signal (TDS) est le temps considérable qu'elle exige. Une variante plus expéditive est celle du *choix forcé à double alternative*. Le sujet reçoit toujours deux présentations, et le signal à détecter est toujours présent dans un des deux cas. Le sujet doit alors dire si le signal est présent dans le cas 1 ou dans le cas 2. Là encore, il y a quatre possibilités de réponse :

Présence	Réponse	Résultat
1	1	correct
2	1	erreur
1	2	erreur
2	2	correct

On commence le test à un niveau, et dès que le sujet a répondu correctement dans deux essais de suite, on baisse le niveau, qu'on remonte à nouveau dès qu'il se trompe deux fois de suite. Cette méthode associe l'avantage de la TDS et celui de la méthode à ajustement par va-et-vient.

3.6 Les échelles subjectives

3.6.1 Les échelles de mesure

Pour devenir un objet d'étude scientifique, un événement ou un attribut doit être mesurable. La mesure quantitative est l'attribution systématique de nombres à des objets ou des événements.

Exemples :

- en audiométrie, la perte auditive est chiffrée en dB,
- en optométrie, la myopie est chiffrée en dioptries,
- en classe, l'examen de psychoacoustique est chiffré en %.

Une difficulté majeure en science est que la mesure doit refléter adéquatement l'attribut qu'on veut mesurer. Par exemple, si on veut mesurer la taille d'une personne, on doit prendre une échelle de mesure qui indique des mètres et des centimètres plutôt qu'une échelle numérotée de 1 à 20. Cet exemple paraît évident mais la situation est bien souvent moins simple.

Voyons, par exemple, les mesures suivantes :

- j'ai une feuille qui mesure 10 cm de large,
- j'ai 10 ans de plus que ma cousine,
- je suis dans la catégorie 10 en ski alpin, où 1 = débutant et 20 = expert,
- il fait 10 degrés dehors en ce moment,
- j'ai eu 10 à mon dernier examen.

On voit que le nombre « 10 » représente ici toutes sortes de variables. Mais quelles sont les propriétés mathématiques de chacune de ces réponses 10 ? Autrement dit, quelles informations ce nombre 10 nous apporte-t-il pour chacune des questions ?

Selon Stevens, la mesure consiste à attribuer des nombres à des objets ou des événements selon certaines règles. Il y a quatre types d'échelles de mesure, définies en fonction des opérations mathématiques qu'on puisse opérer.

3.6.2 Les types d'échelles de mesure

Échelle nominale : Ce type d'échelle est utilisée pour décrire des données qui sont des noms ou des catégories. En psychoacoustique, les tâches d'identification sont de type nominal.

Exemple : *Quelle voyelle percevez-vous ?*

→ Opération mathématique : « = » (égalité)

Échelle ordinale : Ce type d'échelle réfère à des données qui peuvent être ordonnées. En psychoacoustique, les tâches exigeant le classement dans un ordre donné en fonction d'un paramètre sont de type ordinal.

Exemple : *Pouvez-vous classer ces sons par ordre de brillance, du plus sombre au plus clair ?*

→ Opération mathématique : « > », « < » (plus grand, plus petit).

Échelle d'intervalles : Ce type d'échelle inclut des données qui vont plus loin qu'un simple ordre. Elle nous donne la différence entre deux degrés de l'échelle. L'information ordinale est incluse.

Exemple : *Quel est l'écart séparant les fréquences des sons présentés ?*

→ Opération mathématique : « - » (différence entre deux points, distance)

Échelle de rapports : Ce type d'échelle donne la mesure des grandeurs subjectives à partir d'une référence. De plus, une échelle de rapports possède un zéro absolu ; autrement dit, la valeur 0, sur cette échelle, signifie que la propriété mesurée n'a pas de quantité. Par exemple, la masse en kg. La température en degrés Celsius, par contre, n'a pas de zéro absolu car « 0 degré » est mesurable (ne veut pas dire qu'il n'y a « pas de degré »).

→ Opération mathématique : « × » (rapport)

Les échelles ont des propriétés cumulatives. De l'échelle nominale à l'échelle de rapports, on obtient de plus en plus d'information sur ce qui est mesuré. La différence importante entre ces échelles est le type d'analyses et de statistiques qu'on peut appliquer aux données.

3.6.3 Les lois fondamentales de la psychophysique

La détermination d'une échelle de mesure en psychophysique permet de répondre à la question : « *Comment les sujets ordonnent-ils une sensation en échelle en fonction du stimulus ?* »

L'objectif des premiers psychophysiciens était d'établir des relations quantitatives entre les grandeurs physiques, ou stimulations, et les grandeurs sensorielles qu'elles induisaient, ou sensations. Les lois fondamentales de Weber et de Stevens sont celles qui ont eu le plus de succès, et sont encore utilisées de nos jours comme référence dans les contextes appropriés (seuils différentiels pour Weber et étalonnage pour Stevens).

La loi proportionnelle de Weber (1829)

Weber (1795- 1878) est un physiologiste allemand qui s'est intéressé à la sensibilité différentielle et en particulier, en ce qui concerne la perception de la masse et du poids. Ses expériences visaient à montrer que le seuil différentiel change en fonction de la grandeur de référence. Par exemple, si une personne peut percevoir tout juste la différence entre une masse de 100 grammes et une masse 105 grammes (5 grammes étant le seuil différentiel, donc la plus petite différence

qu'elle puisse détecter), il n'est pas évident qu'elle pourra aussi percevoir la différence entre 200 et 205 grammes.

Weber mis au point le concept de *différence tout juste perceptible* appelée – « jnd » en anglais (*just noticeable difference*). D'après Weber, le plus petit changement détectable ΔP vaut approximativement une fraction constante de la grandeur du stimulus $\Delta S/S$.

$$\Delta S/S = \Delta P \quad \text{où} \quad \begin{array}{l} P : \text{perception} \\ S : \text{stimulus} \end{array}$$

Ainsi, selon Weber, la relation stimulus/perception n'est en général pas linéaire et varie plutôt selon une proportion fixe : il faut qu'un stimulus varie dans la même proportion pour que la perception de la différence reste égale, par exemple, de 10 %, et cela peu importe la valeur de départ. La loi de Weber est donc **proportionnelle**.

La **fraction de Weber** (K) est une constante correspondant au rapport du seuil différentiel ($\Delta S_{\min}$) et de la grandeur du stimulus (S). Si la fraction de Weber est connue pour une modalité, on peut déduire le seuil différentiel pour une valeur donnée de stimulus.

$$\Delta S_{\min}/S = K$$

Modalité sensorielle	Fraction de Weber
Pression profonde de la peau et du tissu sous-cutané	1/77
Brillance visuelle	1/60
Poids soulevé	1/52
Sonie d'un son de 1 000 Hz	1/12
Odeur de caoutchouc	1/11
Pression cutanée	1/7
Goût d'une solution saline	1/5

Exemple : Si la fraction de Weber pour le goût d'une solution saline vaut 1/5, cela signifie qu'il faut augmenter de 20 % la concentration de sel dans l'eau pour que l'on puisse percevoir une différence de salinité.

La loi de Weber généralisée

Dans la pratique, la loi de Weber n'est pas valable pour toutes les valeurs de la stimulation. Pour les valeurs près des seuils de détection (petites valeurs du stimulus) et pour les très fortes valeurs, la loi de Weber est limitée par la capacité des récepteurs. On l'a adaptée comme suit afin de tenir compte de ces effets de seuil :

$$\Delta S_{\min}/(S - S_0) = K$$

où S_0 est la valeur de stimulation au seuil de détection. Cette transformation n'affecte que peu les valeurs intermédiaires par rapport aux valeurs proches du seuil.

La loi logarithmique de Fechner (1860)

Fechner, quant à lui, a introduit le concept d'échelle de perception, dont l'unité est le seuil différentiel. La loi de Fechner stipule que la sensation augmente comme le logarithme de la stimulation. Le *jnd* d'une sensation, qui correspond à l'ajout d'une unité perceptive, évolue d'un degré à chaque fois que la stimulation est multipliée.

$$\Delta P = K \log(S_2/S_1) \quad \text{où } K \text{ est une constante de proportionnalité}$$

Sa loi valait, pensait-il, pour toutes les sensations, moyennant la constante de proportionnalité qui convient.

Exemple : Chaque fois que l'intensité est doublée (+ 3 dB), on avance d'un degré dans la perception.

La loi de puissance de Stevens (1930)

Par la suite, de nombreux chercheurs, et en particulier Stanley Smith Stevens, psychophysicien américain qui a beaucoup innové dans les méthodes de recherche en psychophysique, et l'école de Harvard qu'il a fondée, ont recherché les différentes échelles psychophysiques et modifié la relation de Fechner. S. S. Stevens considérait les processus psychophysiques comme une chaîne :

$$\textit{stimulation} \rightarrow \textit{excitation} \rightarrow \textit{sensation}$$

Il cherchait à déterminer les mécanismes du transfert entre stimulation et sensation (entrée et sortie du système de communication constituant le système auditif). Sa méthode était directe et empirique : il demandait au sujet d'exprimer directement, à l'aide de nombres, l'intensité du stimulus telle qu'il la ressentait.

Sur la base de ces expériences, Stevens a établi que la relation perception-stimulus n'était pas logarithmique, mais prenait plutôt la forme d'une **loi de puissance** : la perception varie comme le rapport des grandeurs physiques élevé à une puissance n .

$$\Delta P = K(S_2/S_1)^n$$

où l'exposant n est une constante dépendante de la modalité sensorielle et le facteur K est une constante reliée à l'unité de mesure.

NB : Un exposant n égal à 1 signifie que la sensation varie proportionnellement à l'intensité du stimulus.

Un exposant n plus petit que 1 signifie que la sensation croît moins vite que l'intensité du stimulus.

Un exposant n plus grand que 1 signifie que la sensation croît plus vite que l'intensité du stimulus.

En particulier, ayant constaté expérimentalement que la sonie doublait chaque fois que l'intensité augmentait de 10 dB (c'est-à-dire que le rapport des intensités était de 10), Stevens en a déduit la relation :

$$\Delta P = (I_2/I_1)^{0,3}$$

Dans le cas de la perception de l'intensité, l'exposant n vaut donc 0,3 (car $10^{0,3} = 2$). Ainsi, si on augmente l'intensité de 20 dB (rapport de 100), on obtient une sensation d'intensité (sonie) quadruplée :

$$\Delta P = (100)^{0,3} = 4$$

À chaque modalité sensorielle où on peut observer un continuum correspond un exposant particulier.

Continnum	Stimulus	Exposant
Goût	Sucrose	1,3
Goût	Sel	1,4
Goût	Saccharine	0,8
Inconfort (froid)	Irradiation du corps	1,7
Inconfort (chaud)	Irradiation du corps	0,7
Chaleur	Contact au métal sur le bras	1,6
Chaleur	Irradiation sur la peau, petite surface	1,3
Chaleur	Irradiation sur la peau, grande surface	0,7
Sonie	Pression sonore pour un son pur de 3 000 Hz	0,67
Vibration	Amplitude de 60 Hz sur le doigt	0,95
Vibration	Amplitude de 250 Hz sur le doigt	0,6
Choc électrique	Courant sur le doigt	3,5

La plupart des chercheurs qui ont tenté d'établir des échelles l'ont fait en supposant que l'échelle est propre au système auditif, et donc universelle, malgré des différences inter-individuelles. La recherche des échelles est aussi importante pour les tenants de la théorie du corrélé physique car une échelle très précise permettra de découvrir plus facilement le corrélé physique. Cependant, on admettra que le corrélé puisse être différent pour certaines personnes ayant eu, dans la formation de leur échelle personnelle, une expérience différente.

3.6.4 Les unités psychologiques

Pour bien distinguer la grandeur physique d'un stimulus, et la grandeur sensorielle correspondante, les chercheurs définissent une unité psychologique et « calibrent » l'échelle à partir d'un étalon plus ou moins arbitraire. Par exemple, pour son échelle de sonie, Stevens définissait qu'une sonie de 1 sone était celle correspondant à un son pur de 1000 Hz de 40 dB. Ayant constaté, comme on l'a vu, que la sonie doublait chaque fois qu'on ajoutait 10 dB, il savait qu'un son de 1000 Hz à 50 dB correspondait à une sonie de 2 sones à 60 dB de 4 sones etc. Nous reviendrons en détail sur cette question au chapitre suivant.

3.6.5 Méthodes utilisées pour l'établissement des échelles subjectives

Ajustements par le sujet

Le sujet reçoit un stimulus de référence, après quoi il doit ajuster un autre stimulus de telle façon qu'il lui donne une sensation x fois plus grande ou x fois plus petite. Quoique le sujet puisse être un peu désarmé devant une telle tâche, les résultats sont, au moins pour certaines sensations, assez constants. On doit cependant procéder à de nombreux essais, et calculer statistiquement les résultats, ceux-ci n'étant pas toujours les mêmes. Par exemple, si le

sujet doit d'abord multiplier par 2, puis diviser par 2 le résultat, il ne revient pas nécessairement au stimulus de départ.

Une variante de cette méthode consiste à faire produire l'échelle par le sujet. On ne lui demande pas d'évaluer une grandeur double ou triple, mais plutôt, entre deux stimuli fixes, on lui demande d'ajuster un certain nombre de sources de façon à créer une série de paliers égaux entre les extrêmes.

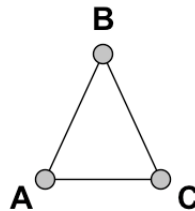
Ajustements inter-sensoriels

Cette méthode peut sembler encore plus surprenante : le sujet doit ajuster un paramètre d'un stimulus autre que celui qu'on cherche à quantifier. Par exemple, il doit ajuster une intensité lumineuse de façon à obtenir entre deux sources lumineuses la même proportion qu'entre deux stimuli sonores qu'on lui présente. Stevens a montré que cette méthode donne aussi des résultats assez stables. On peut donc, avec cette technique, déduire une échelle sensorielle à partir d'une autre échelle connue.

Comparaison par paires

Le sujet reçoit deux stimuli et doit les comparer selon une dimension. Par exemple, il doit déterminer quel son est le plus fort, ou quel son est le plus aigu. On doit procéder à un grand nombre d'essais car il arrive qu'un sujet réponde $A > B$, $B > C$, mais $C > A$, ce qui peut arriver lorsque les échantillons diffèrent selon des paramètres autres que celui étudié. Par exemple, s'il faut comparer la sonie de sons éloignés par la fréquence, ou la hauteur de sons de timbres différents, etc.

Une variante de cette méthode est utilisée lorsque la sensation à étudier est mal définie, semble difficile à quantifier, ou comporte plusieurs dimensions, comme pour le timbre en particulier. On présente alors au sujet un grand nombre d'échantillons par paires, et on lui demande d'évaluer la similarité/dissimilarité de la paire de stimuli sur une échelle entre 0 et 100 (0 pour « très semblables » et 100 pour « très différents »).



Exemples :	$A - B = 100$	$A - B = 100$
	$B - C = 100$	$B - C = 100$
	$A - C = 0$	$A - C = 75$

A, B, C sont jugés selon le même critère	A, B, C sont jugés selon au moins deux critères différents
--	--

Des techniques mathématiques permettent de découvrir le nombre de critères utilisés, et de déterminer les critères les plus importants.

Évaluation chiffrée

Le sujet doit évaluer le stimulus par un nombre, selon la sensation étudiée. À titre de référence, on peut lui spécifier qu'il devrait donner le nombre 0 à ce qu'il évaluerait comme la plus petite valeur de la sensation qu'il puisse concevoir, et 100 à la plus grande. On peut également lui donner à entendre deux stimuli extrêmes, considérés comme 0 et 100. Ce type de tâche est beaucoup moins difficile pour le sujet. Certains chercheurs croient qu'elle n'est valable que si on utilise un très grand nombre de sujets, chacun ne faisant qu'une seule évaluation, car un sujet aura tendance à rester cohérent avec sa première évaluation, et ne la corrigera pas en cours d'expérience. Il existe cependant des façons de lui faire oublier son premier choix.

Dans ce type d'expérience, le biais peut être introduit par le chercheur, dans le choix et l'ordre de présentation des stimuli.