LA THÉORIE DE DÉTECTION DU SIGNAL

AUTEUR

Thomas Salmon: Northeastern State University, États-Unis

RÉVISION PAR LES PAIRS

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, États-Unis

CE CHAPITRE INCLUT UNE RÉVISION DE:

- L'activation neuronale nécessaire à la détection
- Le bruit de fond neuronal
- L'excitation neuronale en présence ou en absence de stimulus
- La détectabilité
- L'effet de différents critères

INTRODUCTION

Lorsqu'un sujet tente de détecter un stimulus, son critère de seuil peut varier selon plusieurs facteurs tels que sa motivation, son attention, son niveau de fatigue, etc. Ces facteurs affectent la réponse. La réponse peut aussi varier selon la quantité de bruit de fond dans le système neuronal à ce moment. La **théorie de détection du signal** tente de tenir compte de l'influence du bruit de fond neuronal et des critères subjectifs variables pour déterminer le seuil.

L'activation neuronale nécessaire à la détection:

Lorsque le système visuel est stimulé, le cerveau reçoit un signal électrique. Schwartz (2004) appelle ce signal l'**activation neuronale**. Pour de très faibles stimuli, l'activation neuronale est petite, mais pour de forts stimuli, elle est grande. Pour simplifier l'explication, supposons que, pour que le sujet détecte le stimulus (pour qu'il le voie), l'activation neuronale doit excéder un critère seuil fixé par le cerveau. Lorsque l'activation neuronale excède ce seuil, le sujet répondra "Je le vois". Pour une activation neuronale sous ce seuil, le sujet répondra "Je ne le vois pas". (Figure 32-1)

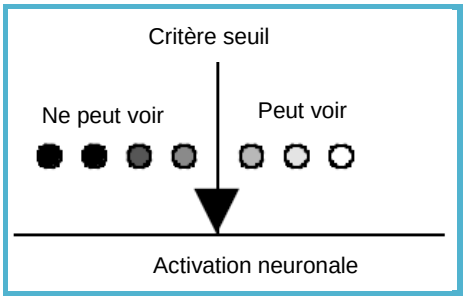

Figure 32-1: *Lorsque les récepteurs rétiniens reçoivent une image, ils envoient un signal proportionnel à la force du stimulus au cerveau. Lorsque le signal est assez fort, le sujet percevra qu'il voit l'objet.*

INTRODUCTION (SUITE)

BRUIT DE FOND NEURONAL

Même en absence de stimulus, les neurones envoient des signaux, quoique le degré d'activité est très bas. Tout de même, ce signal est toujours présent et on l'appelle bruit de fond neuronal. La force du bruit neuronal est variable. Parfois, le bruit crée un très faible niveau d'activation neuronale, parfois plus. À tout moment, la quantité d'activation neuronale variera au hasard, mais nous pouvons supposer que l'étendue des niveaux d'activation aura une distribution normale autour d'une valeur moyenne. La Figure 32-2 montre une distribution de probabilités pour les valeurs du bruit neuronal. Il s'agit d'une courbe en forme de cloche représentant une distribution gaussienne normale. Même en l'absence de stimulus, le cerveau recevra de l'activation neuronale selon une distribution de probabilités présentée dans le graphique.

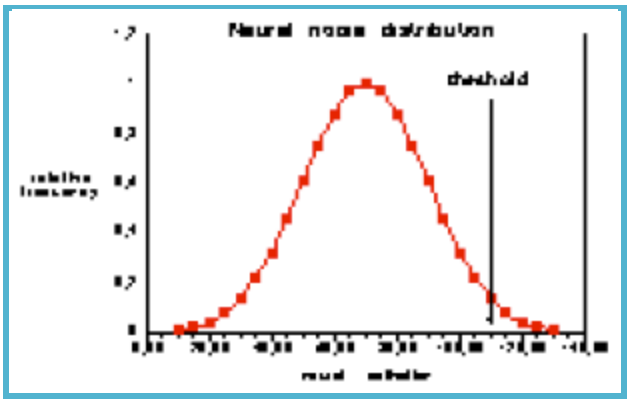

Figure 32-2: *La distribution de l'activation neuronale due seulement au bruit de fond.*

La Figure 32-2 montre aussi le niveau d'activation neuronale au seuil. Le bruit de fond neuronal produit généralement un faible signal bien au-dessous du critère de seuil de détection. Toutefois, dans de rares cas, le bruit de fond neuronal peut être assez fort pour dépasser le critère seuil. À ce moment, la personne répondra par erreur qu'elle voit un stimulus, alors qu'elle ne reçoit en fait que de l'activité neuronale causée par le bruit de fond. La probabilité que cela se produise est toutefois très basse. Elle est proportionnelle à l'*aire sous la courbe à droite de la ligne du critère de seuil*. Bien sûr, cela peut seulement se produire si le critère seuil est assez bas pour être dans l'étendue de distribution du bruit de fond.

EXCITATION NEURONALE EN PRÉSENCE D'UN STIMULUS

Nous supposerons que, pour un degré d'intensité particulier, le stimulus seul cause toujours un montant fixe d'activation neuronale lorsqu'il est présenté. Par exemple, supposons que le stimulus seul entraîne un signal neuronal de 100 unités arbitraires. Puisque le bruit de fond est toujours présent, l'activation neuronale totale reçue en présence du stimulus sera due à l'effet combiné du **stimulus + bruit de fond**. Puisque le stimulus a toujours la même activation et que le bruit varie en intensité, la somme du stimulus + bruit variera aussi. Puisque cette variation est entièrement due à une variation du bruit, la distribution de probabilités du signal stimulus + bruit aura la même forme que la distribution de probabilités du bruit seul (une courbe en cloche), mais elle sera déplacée vers la droite. Ceci s'explique par le fait que le stimulus est additionné au bruit. (Fig. 32-3 ou Schwartz, 2004, Fig. 11-5)

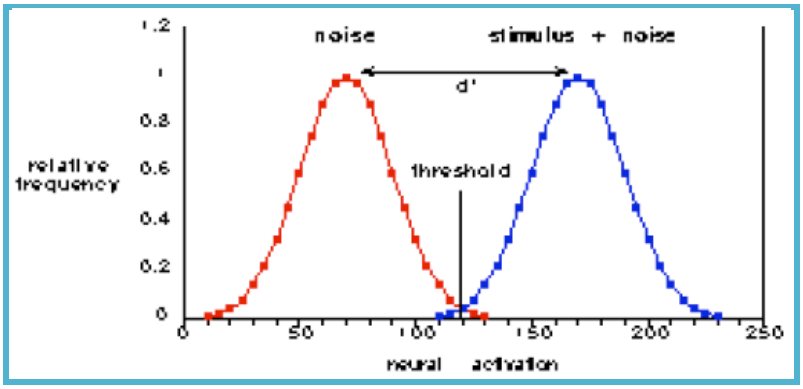

Figure 32-3: *Deux distributions; la courbe en cloche de gauche représente la distribution de probabilités du bruit seul. La courbe de droite représente la distribution du stimulus plus le bruit.*

INTRODUCTION (SUITE)

Notez que les deux courbes montrent deux conditions de stimuli différentes – une lorsque le stimulus est éteint (OFF), l'autre lorsqu'il est allumé (ON). Le sujet recevra une activation neuronale de l'une ou l'autre de ces distributions. Des graphiques semblables sont présentés dans Schwartz (2004), mais il est important de comprendre que le graphique ne montre pas deux conditions simultanées. Elles sont plutôt deux présentations possibles, c'est-à-dire avec le stimulus ON ou OFF, et les deux distributions sont montrées sur le même graphique à des fins de comparaison. À tout moment spécifique, le signal neuronal viendra de l'une ou l'autre de ces distributions selon que le stimulus est ON ou OFF.

Notez où est situé le critère de seuil et observez la courbe stimulus + bruit. La plupart du temps, lorsque le stimulus est allumé, l'activation neuronale stimulus + bruit sera au-dessus de la ligne du critère de seuil et le cerveau répondra "Je le vois".

La probabilité de voir le stimulus, lorsqu'il est allumé, est proportionnelle à l'aire sous la courbe à la droite de la ligne du critère de seuil. En supposant que l'aire totale est de 1.0, la probabilité de détection, dans ce cas, serait d'environ 98%.

Notez toutefois que parfois, même si le stimulus est présent, le bruit est si faible que la combinaison du signal neuronal du stimulus + bruit tombe sous la ligne du critère de seuil. Lorsque l'activation neuronale est aussi basse, le cerveau répond "Je ne vois rien". Ceci est indiqué par l'aire sous la courbe à la gauche du critère de seuil. Selon cette courbe, la probabilité que cette situation survienne est très basse — environ 2%.

ACTIVATION NEURONALE EN ABSENCE D'UN STIMULUS

Lorsqu'aucun stimulus n'est présent, la distribution de la probabilité de recevoir un certain niveau d'activation neuronale (due au bruit de fond) est montrée par la courbe en cloche à la Figure 32-3 (gauche). La plupart du temps, l'activation neuronale causée par le bruit de fond se situe sous le critère de seuil et le sujet répondra, avec raison, qu'il ne voit rien. La probabilité de répondre correctement que le stimulus est absent, lorsqu'il n'est pas présent, est proportionnelle à l'*aire sous la courbe de bruit à gauche du critère de seuil*. Dans cet exemple, la probabilité que la personne réponde correctement que le stimulus n'est pas présent est de 98%.

Notez aussi que le bruit seul peut être occasionnellement suffisant pour excéder le critère de seuil et le patient croira à tort qu'il voit le stimulus. La probabilité que cette situation survienne est proportionnelle à l'aire sous la courbe du bruit à droite du critère de seuil – dans le cas présent, environ 2%.

DÉTECTABILITÉ

Un sujet doit décider si oui ou non il voit un stimulus selon l'excitation neuronale qu'il reçoit. Il ne saura pas de quelle distribution l'excitation neuronale provient — c'est à dire si elle vient de la courbe de bruit ou de la courbe stimulus + bruit. Tant que l'excitation excédera le seuil, la réponse sera la même; il répondra "Je le vois".

À chaque essai de l'expérience, la personne doit décider si elle regarde une distribution de bruit ou la distribution signal + bruit, mais la seule information dont elle dispose est son degré d'excitation neuronale. Lorsque l'intensité du stimulus est faible, la courbe de droite sera à peine déplacée à la droite de la courbe de bruit et il y aura beaucoup plus de superpostion des deux distributions. Il sera alors difficile de discriminer le stimulus du bruit et le sujet fera probablement plusieurs erreurs.

Plus l'intensité du stimulus est grande, plus la distribution signal + bruit sera poussée vers la droite et il sera plus facile de discriminer entre les deux distributions. Le sujet fera alors probablement moins d'erreurs.

EFFET DE DIFFÉRENTS CRITÈRES

La fig. 11-7 de Schwartz, 2004, illustre comment la réponse d'un sujet à une tâche de détection dépendra de son critère de seuil. Dans cet exemple, *d'* est faible (un stimulus de faible intensité), donc si les distributions du bruit (N) et du signal + bruit (N+S) étaient dessinées sur le même graphique, elles auraient une grande surface de superposition. Il est important de se souvenir que dans tout essai de détection, le sujet verra un signal produit par la distribution N ou S+N, jamais les deux ensemble. Comment différents critères pourraient-ils affecter les résultats selon la théorie de détection du signal?

Considérons une expérience hypothétique. Un sujet s'assoit dans une pièce parfaitement noire en face d'un panneau. Après avoir entendu un son, il doit rapporter s'il a vu ou non une faible lumière. Pour vérifier l'honnêté du sujet, l'expérimentateur inclut des contrôles dans la présentation, c'est-à-dire que parfois, après le son, la lumière ne sera pas allumée et d'autres fois, elle sera allumée. Chaque fois que le sujet entend le son, il doit répondre "Je l'ai vu" ou "Je ne l'ai pas vu".

Pour chaque présentation, il y a deux réponses possibles, chacune d'elle pouvant être correcte ou incorrecte. Le Tableau 32-1 résume les quatres possibilités.

Table 32-1: *Quatre possibilités de réponses dans une expérience de détection de signal*

	STIMULUS PRÉSENT	**STIMULUS ABSENT**
RÉPOND "JE L'AI VU."	Détection (vrai positif)	Fausse alarme (faux positif)
RÉPOND "JE NE L'AI PAS VU."	Détection manquée (faux négatif)	Rejet correct (vrai négatif)

Comment le sujet répondrait-il pour différents critères?

CRITÈRE LIBÉRAL – BRUIT SEULEMENT

La figure 11-7A de Schwartz (2004) montre comment répondrait un sujet si le critère de seuil était faible ou libéral. Le sujet répondrait "Je l'ai vu" pour de faibles niveaux d'excitation neuronale. Pour un test de champ visuel, on qualifierait une telle personne de "vite-sur-la-gachette".

La figure 11-7A montre comment la personne répondrait si aucun stimulus n'était présenté pendant un essai. Dans ce cas, le cerveau reçoit de l'activation neuronale du bruit seulement. Souvent, l'excitation produite seulement par le bruit (N) est supérieure au critère de seuil. Le sujet répondra "Je l'ai vu", alors qu'il n'y a que du bruit. Il s'agit d'un **faux positif** ou d'une **fausse alarme**.

Q. Quelle est la probabilité d'obtenir une fausse alarme avec ce critère?

R. _____

Parfois l'excitation du bruit sera inférieure au critère de seuil. Le sujet répondra qu'il ne voit rien, avec raison — il n'y a rien d'autre que du bruit. Il s'agit d'un **rejet correct** ou d'un **vrai négatif**.

Q. Quelle est la probabilité d'obtenir un rejet correct avec ce critère?

R. Critère libéral – signal + bruit

La figure 11-7A montre comment le sujet répondra si le stimulus est allumé pendant une présentation. Le critère de seuil est le même, mais cette fois-ci l'excitation neuronale est causée par la distribution N+S. La pluspart du temps, S+N sera supérieur au critère de seuil. Le sujet répond "Je l'ai vu", avec raison. On parle alors d'une **détection** ou d'un **vrai positif**.

Q. Avec cette détectabilité et ce critère, quelle est la probabilité d'obtenir un vrai positif?

R. _____

À quelques occasions, S+N ne produit qu'une faible excitation neuronale. Le signal est transmis au moment même ou le bruit de fond est très faible. Malgré le fait que le stimulus est présent, le sujet répond "Je ne l'ai pas vu". On parle alors de **détection ratée** ou de **faux négatif** puisque le sujet n'a pas réussi à voir le stimulus alors qu'il était présent.

EFFET DE DIFFÉRENTS CRITÈRES (SUITE)

Q. Avec cette détectabilité et ce critère, quelle est la probabilité d'obtenir un faux négatif?

R. _____

À partir de ces exemples, on peut voir que, *lorsque le critère de seuil est bas, on obtient plusieurs détections et plusieurs fausses alarmes.* Il est possible d'influencer le critère d'un patient en utilisant des punitions ou des récompenses. Par exemple, si vous dites à un sujet, "Chaque fois que vous verrez la faible lumière, je vous donnerai 100$". Cela encouragera le patient à se fixer un seuil faible et il répondra facilement "Je l'ai vu". Cela causera de nombreuses fausses alarmes, mais il répondra aussi correctement qu'il a vu le signal la plupart des fois où le signal sera présenté (plusieurs détections).

CRITÈRE CONSERVATEUR – BRUIT SEULEMENT

La figure 11-7B de Schwartz (2004) montre comment un sujet répondra si son critère de seuil est très strict ou conservateur. Le sujet répondra "Je l'ai vu" seulement si l'excitation neuronale est très élevée. Il dira voir le signal seulement aux quelques occasions où le bruit excède le critère de seuil.

Q. Quelle est la probabilité d'obtenir une fausse alarme (faux positif) avec ce critère?

R. La plus grande partie de la distribution du bruit se situe sous le critère de seuil, ainsi la plupart du temps, lorsque le simulus sera absent, le sujet répondra, avec raison, ne pas avoir vu le stimulus.

Q. Quelle est la probabilité d'obtenir un rejet correct avec ce critère?

R. Critère conservateur – signal + bruit

La figure 11-7B montre comment un sujet répondra si le stimulus est allumé avec un critère de seuil conservateur. Une partie de la distribution N+S se situe au-dessus du critère de seuil. Ceci indique la probabilité que la personne rapporte avoir vu le stimulus lorsqu'il est présent (détection).

Q. Avec cette détectabilité et ce critère, quelle est la probabilité d'obtenir une détection?

R. La plus grande partie de la distribution N+S se situe sous le critère de seuil. Cette région réprésente les fois où le sujet rapporte ne pas avoir vu le stimulus même s'il était présenté (détection ratée).

Q. Avec cette détectabilité et ce critère, quelle est la probabilité d'obtenir une détection ratée?

R. Avec un seuil élevé, on obtient peu de fausses alarmes, mais beaucoup de détections ratées. On peut influencer un sujet à choisir un critère élevé avec des punitions. Par exemple, en disant "Je vous donnerai un choc électrique si vous dites que le signal est là alors qu'il ne l'est pas". Le sujet se choisira probablement un critère très élevé et répondra seulement s'il est absolument certain de voir le signal.

Avec la même logique, analysez les probabilités d'obtenir chacune des quatre réponses avec le critère modéré présenté dans la figure 11-7C de Schwartz (2004).

- Fausse alarme (faux positif)
- Rejet correct (vrai négatif)
- Détection (vrai positif)
- Détection ratée (faux négatif)

En clinique et dans des tests expérimentaux, il est possible de modifier le critère d'un sujet par l'encouragement, la suggestion ou en offrant des récompenses ou des pénalités. Réfléchissez à la manière dont vous le faites en clinique.

LECTURES RECOMMANDÉES/OUVRAGES DE RÉFÉRENCE

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004