

Université René Descartes (Paris V)

Institut de Psychologie

Laboratoire de Psychologie Expérimentale

MASTER

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA SANTE -SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

MENTION PSYCHOLOGIE

SPECIALITE RECHERCHE PSYCHOLOGIE COGNITIVE

M2

Sensibilité et comportement décisionnel dans le Motion-Induced Blindness

Mémoire réalisé sous la direction de M. Andrei Gorea

**Florent Caetta
N° étudiant : 20006088**

Juin 2005

Université René Descartes (Paris V)
Institut de Psychologie
Laboratoire de Psychologie Expérimentale

MASTER
SCIENCES DE LA VIE ET DE LA SANTE -SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES
MENTION PSYCHOLOGIE
SPECIALITE RECHERCHE PSYCHOLOGIE COGNITIVE
M2

Sensibilité et comportement décisionnel dans le Motion-Induced Blindness

Mémoire réalisé sous la direction de M. Andrei Gorea

Florent Caetta
N° étudiant : 20006088

Janvier 2005

RESUME

La visibilité d'un objet visuel n'est pas simplement fonction de son intensité ou de son contraste. Ceci est illustré par La *cécité induite par le mouvement* (MIB ; « Motion Induced Blindness » ; Bonnef, Cooperman & Sagi, 2001) qui est un phénomène de disparition visuel où des cibles largement supraliminaires superposées à un pattern en mouvement disparaissent et réapparaissent alternativement. Aussi l'étude présente se pose la question de savoir si le MIB est dû à une réduction transitoire de la sensibilité aux cibles ou à un changement du comportement décisionnel du sujet, voire aux deux. Pour ce faire la sensibilité selon l'état phénoménal du sujet (cible visible/invisible) pour des incréments et des décréments a été mesurée avec deux paradigmes expérimentaux (choix forcé et oui/non), et les critères de réponse ont été mesurés avec ce même paradigme oui/non. L'estimation de la sensibilité avec la première technique s'est faite selon différents niveaux de luminance de la cible, ce qui revient à mesurer la fonction dite TvC (« Threshold vs. Contrast »), et a permis d'inférer les paramètres gouvernant la transduction du signal pendant le MIB (son gain, sa non linéarité et le bruit interne associé). Bien que la transduction du signal semble être à première vue modifiée, seules une diminution du bruit interne et une augmentation de sa non-linéarité ont été mises en évidence pour les décréments. Cependant, la mesure de la sensibilité avec la technique oui/non montre que le MIB serait caractérisé aussi bien par une modification transitoire de la sensibilité que par des facteurs décisionnels ; la modulation des critères de réponse pouvant rendre compte de l'hypothèse attentionnelle sous-jacente au MIB.

TABLE DES MATIERES

Introduction	p 6
Méthode	p 11
Stimuli	p 11
Procédure	p 11
Sujets	p 13
Plan expérimental	P 13
Résultats	p 14
Discussion	p 22
Bibliographie	p 25

INTRODUCTION

La visibilité d'un stimulus n'est pas garantie par sa saillance estimée lors de sa présentation en isolation. Ceci est démontré par des phénomènes tels que le *masquage* (Holender, 1986), la *cécité au changement* (Rensink, O'Regan & Clark, 1997), la *cécité inattentionnelle* (Mack & Rock, 1998), la *cécité à la répétition* (Kanwisher, 1987), le *clignement attentionnel* (Raymond, Shapiro & Arnell, 1992), la *rivalité binoculaire* (Blake, 1989), ou encore la *cécité induite par le mouvement* (MIB ; « Motion Induced Blindness » ; Bonnef, Cooperman & Sagi, 2001). Tous ces phénomènes de « disparition visuelle » soulèvent le problème général de la conscience perceptive et sont ou ont été utilisés pour en révéler la signification et les origines neuronales. Le MIB, toutefois, n'a encore généré aucune interprétation convaincante et ses origines restent entièrement énigmatiques : des cibles largement supraliminaire superposées à un pattern en mouvement (distracteur) disparaissent et réapparaissent alternativement à l'instar de deux stimuli incongruants présentés dichoptiquement (rivalité binoculaire), ou à tout autre phénomène perceptif oscillatoire tel celui induit par le cube de Necker. Aussi a-t-il été proposé que le MIB ne soit qu'un autre exemple de phénomène perceptif instable sous-tendu par des processus équivalents d'inhibition réciproque (Carter & Pettigrew, 2003). Cependant, en flagrant conflit avec l'ensemble des phénomènes perceptifs oscillatoires connus (voir par ex. Mueller & Blake, 1989), la disparition phénoménale des cibles dans le MIB est d'autant plus fréquente que leur saillance (contraste) *augmente* (Bonnef et al., 2001).

Le MIB est sensible à des manipulations expérimentales suggérant l'implication de processus sous-jacents de « bas », de « moyen » et de « haut niveau ». Parmi ceux relevant des premiers, l'on peut citer l'effet de proximité (des cibles proches entre elles ont tendance à disparaître ensemble) et de cohérence (deux réseaux de fréquences spatiales colinéaires disparaissent simultanément, alors que des réseaux orthogonaux disparaissent alternativement ; Bonnef et al., 2001). La complétion des surfaces (qui a pour effet de faire disparaître les cibles placées à « l'intérieur » des contours subjectifs engendrées par des éléments de Kanizsa ; Graf, Adams & Lages, 2002) et la compétition des surfaces (où la fréquence de disparition est modulée selon le plan de profondeur des cibles par rapport à celui du distracteur ; Graf, Adams & Lages, 2002) suggèrent elles la participation de processus de moyen niveau. Enfin, la compétition entre objets (qui fait que deux cercles entrecroisés disparaissent tour à tour ; Bonnef & al., 2001) et la cohérence entre les cibles et les distracteurs (qui diminue la fréquence de disparition relativement à des conditions où les

cibles et les distracteurs sont différents ; Hsu, Yeh & Kramer, 2003) suggèrent la contribution de processus de haut niveau.

Dans le même temps plusieurs observations vont à l'encontre d'une implication de processus de bas niveau dans le MIB. D'une part, la disparition des cibles ne peut pas être liée à un masquage local, puisque l'effet persiste aussi en présence d'une « zone de protection », c'est-à-dire d'une aire autour des cibles « interdite » aux distracteurs (Bonneh et al, 2001). D'autre part, le fait qu'une d'adaptation spécifique à l'orientation est retrouvée même lorsque la cible n'est pas consciemment perçue indique que le MIB a lieu au-delà de l'aire visuelle primaire (V1 ; Montaser-Kouhsari, Moradi, Zandvakili & Esteki, 2004). Cependant, l'observation que la présentation différée des distracteurs vis-à-vis de la cible augmente sa fréquence de disparition suggère selon Wilke, Logothetis & Leopold (2003) une implication des aires primaires, voire même de la rétine, dans le MIB.

Prises dans leur ensemble, les observations ci-dessus font que, à ce jour, le MIB n'a pas une interprétation unitaire et consensuelle. Selon Bonneh & al. (2001), il participerait de la grande classe de phénomènes relatifs à la compétition entre objets et aux fluctuations attentionnelles sous-jacentes. En montrant que les temps de disparition des cibles peuvent être écourtés ou augmentés selon l'hémisphère stimulé magnétiquement, Funk & Pettigrew (2003) suggèrent que le MIB est la conséquence d'une opposition entre les styles cognitifs propres à chaque hémisphère. Dans cette perspective, l'hémisphère gauche aurait tendance à ignorer les « anomalies », donc à rejeter les cibles qui ne s'incorporent pas dans une perception cohérente du pattern en mouvement (distracteur), alors que l'hémisphère droit aurait tendance à souligner les incohérences, donc à représenter tous les stimuli présents. Ainsi, les perceptions alternées des sujets refléteraient la dominance d'un des deux hémisphères.

L'étude présente se propose d'apporter des informations supplémentaires quant à l'origine du MIB. En particulier, elle pose la question de savoir s'il est dû à une réduction transitoire de la sensibilité aux cibles ou à un changement du comportement décisionnel du sujet, voire aux deux. Sous la première hypothèse, le paradigme expérimental proposé permettra de caractériser le processus sous-jacent à la baisse de sensibilité ainsi que l'endroit où il opère vis-à-vis du processus de suppression observé dans le MIB. Pour ce faire nous mesurerons les seuils de discrimination d'un incrément/décément de luminance appliqué à la cible selon l'état phénoménal du sujet (« cible perçue », « cible non perçue »), pour une large gamme de contrastes de référence de cette cible. Ceci revient à mesurer la fonction classique dite TvC (« Threshold vs. Contrast ») qui établit le rapport de Weber (1831) en fonction de l'intensité d'un « piédestal » (Foley & Legge, 1981).

La fonction de transduction d'un signal et la TvC – Modèle de Bruit Equivalent (BE)

Afin de mieux comprendre l'utilité de la mesure d'une fonction TvC, nous en décrivons sa relation mathématique avec la fonction de transduction d'un signal de luminance. Cette dernière décrit la relation hypothétique entre la réponse interne du système, R , et la luminance, L , d'un signal (eq. 1; Loi de Stevens, 1957) avec k un facteur d'échelle (ou *gain*) et n une puissance typiquement inférieure à 1 (Foley & Legge, 1981; Gorea & Sagi, 2001):

$$\mathbf{R} = \mathbf{kL}^n \quad (1)$$

La définition classique de la sensibilité (d') est donnée par le rapport entre le signal, R , et le bruit du système de transduction, σ (Green et Swets, 1966). Ce dernier est égal à la racine carrée de la somme des variances, l'une propre au système σ_I^2 (où l'indice I se réfère au bruit *interne*), l'autre à celle d'un « bruit externe » assimilé ici à la luminance (ou contraste) de la cible, σ_E^2 :

$$\mathbf{d}' = \frac{\mathbf{R}}{\sigma} = \frac{\mathbf{kL}^n}{\sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_E^2}} \quad (2)$$

L'équation 2 représente la formulation la plus simple du modèle de *Bruit Equivalent* (BE ; cf. Pelli, 1990). Dans le cas de la TvC où l'on mesure la variation de luminance *au seuil* d'un incrément/décément, L_S , l'équation 2 devient :

$$\mathbf{d}'_{=1} = \frac{\mathbf{R}_S}{\sigma} = \frac{\mathbf{kL}_S^n}{\sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_E^2}} \quad (2')$$

Enfin, la variation de luminance *au seuil*, L_S , est dérivable de l'équation 2' comme il suit :

$$\mathbf{L}_S = \left(\frac{\mathbf{d}'_{=1} \sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_E^2}}{\mathbf{k}} \right)^{1/n} \quad (3)$$

L'équation 3 décrit la fonction TvC.

Plusieurs changements dans la transduction d'un signal peuvent être envisagés, avec les conséquences sur la TvC qui y sont associées (Figure 1). Un premier cas est celui où la disparition phénoménale d'une cible dans le MIB est associée à un changement de la non linéarité du processus de transduction (l'exposant n – Fig.1a), à savoir, par exemple, une augmentation de son régime de saturation (aplatissement), ou encore, une linéarisation de la transduction ($n = 1$). Ces deux modifications de la non linéarité se traduisent, respectivement, par une augmentation ou par une réduction de la pente de la TvC (dans des coordonnées log-log). Un deuxième cas de figure est celui où la sensibilité globale diminue ou augmente d'un facteur constant sans modification de la non linéarité n avec comme conséquence une

translation verticale de la TvC (Fig.1b). Enfin, il est possible que, lors de la disparition phénoménale de la cible, la fonction de transduction (c.-à-d. l'exposant n) reste inchangée mais que le bruit interne du système, σ_i^2 , augmente (Fig.1c). Ceci se traduit par une fonction TvC déplacée verticalement pour les faibles niveaux de luminance de la cible, mais qui rejoint la branche montante de la TvC mesurée lors de la perception consciente de celle-ci (pour des niveaux de luminances plus élevées). Un tel résultat a déjà été observé par Lu & Doshier (1997) dans des conditions d'indigage spatial non valide et pourrait donc être interprété dans notre contexte expérimental comme le reflet d'une baisse attentionnelle lors des phases de disparition des cibles dans le MIB. Evidemment, toute combinaison des trois cas ci-dessus est possible.

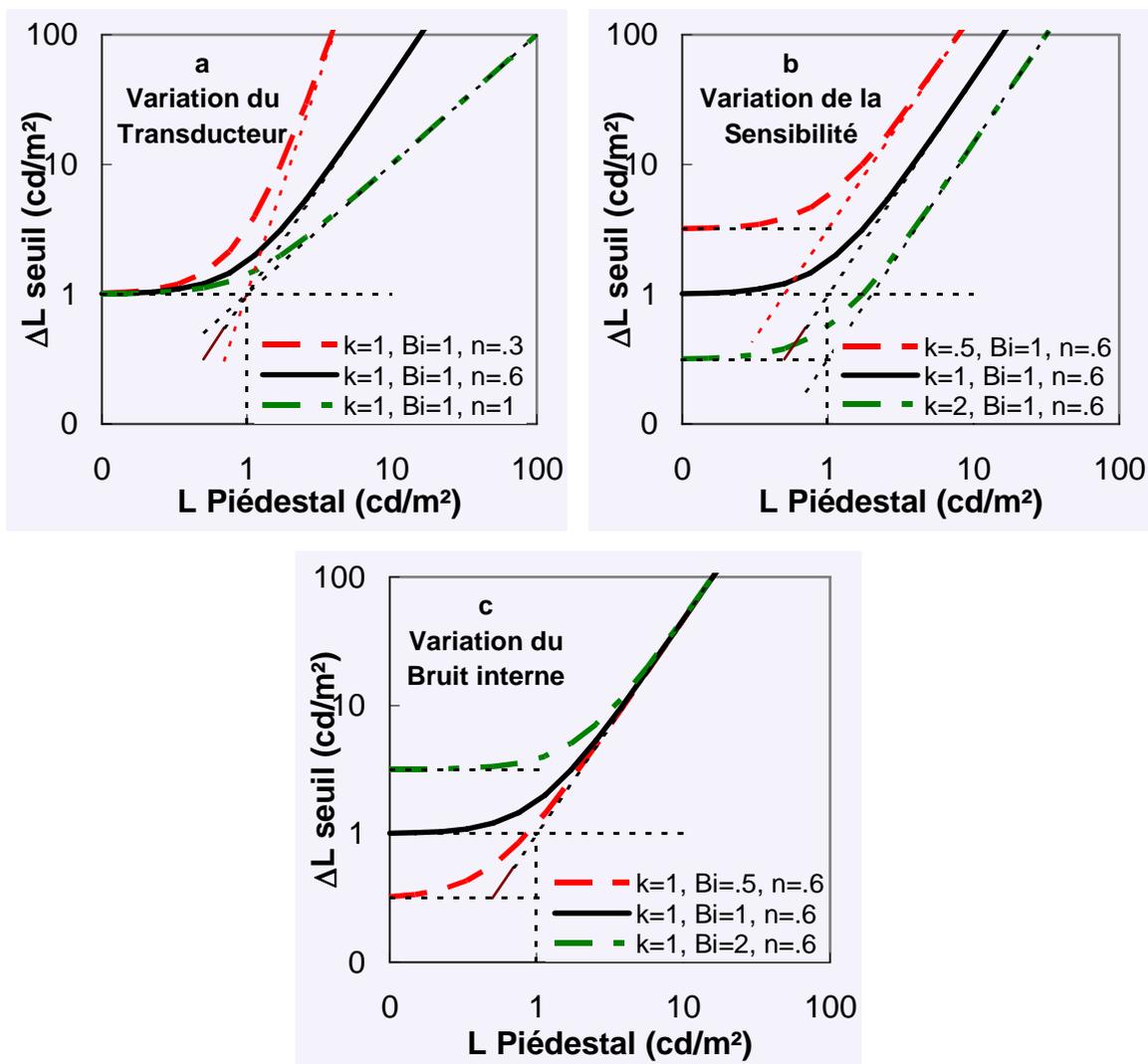


Figure 1. Possibles changements dans la transduction d'un signal lors des phases d'invisibilité, avec une modification de la non linéarité (1a), du gain (1b) ou du bruit interne (1c).

En utilisant cette procédure pour étudier le phénomène de suppression binoculaire, Watanabe, Paik & Blake (2004) ont mis en évidence une translation verticale de la TvC (augmentation des seuils par un facteur constant) et ont conclu que la suppression est déterminée par une diminution de la sensibilité sans changement de la forme du transducteur. Etant donné que, contrairement à la rivalité binoculaire, la fréquence de disparition des cibles dans le MIB est corrélée *positivement* avec leur contraste (Bonneh & al., 2001), il est peu probable que la modification du transducteur inférée par Watanabe et al (2004) pour la première soit généralisable au second. Le premier objectif de cette étude est de caractériser cette modification du transducteur et/ou du bruit interne pour le MIB.

La méthodologie utilisée par Watanabe et al (2004) et que nous nous proposons d'employer aussi, à savoir celle du choix forcé à deux alternatives, ne permet pas d'évaluer une possible modification du comportement décisionnel des sujets dans les phases de disparition phénoménale des cibles, fût-elle dans le cas de la rivalité binoculaire ou du MIB. Or, l'hypothèse attentionnelle avancée par Bonneh et al. (2001) pour rendre compte de ce dernier suggère l'implication d'un changement du comportement décisionnel. En effet, Gorea & Sagi (2004) proposent un lien intrinsèque entre ce dernier et l'attention. Dans le même temps, ces auteurs font état d'un changement spécifique du comportement décisionnel dans des conditions de double tâche où les événements sensoriels que les sujets doivent juger présentent des sensibilités différentes (Gorea & Sagi, 2000, 2002). Aussi une procédure de type Oui/Non sera utilisée dans un deuxième temps ; celle-ci permet l'estimation du *critère de réponse* du sujet en sus de l'estimation de sa sensibilité (Green et Swets, 1966). Il se peut en effet que la disparition phénoménale des cibles dans le MIB (mais aussi dans la rivalité binoculaire) résulte ne serait-ce que partiellement (et indépendamment d'un changement éventuel de la sensibilité) d'une augmentation transitoire du critère décisionnel des sujets.

Pour résumer, la présente étude se propose d'évaluer la sensibilité aux stimuli cible dans le MIB avec deux procédures différentes (choix forcé et Oui/Non), d'une part, et les critères de réponse des sujets pour ces mêmes cibles avec la procédure Oui/Non, d'autre part. L'estimation du paramètre sensibilité avec la première technique expérimentale permettra d'inférer les paramètres gouvernant le processus de transduction dans le MIB (son gain, sa non linéarité et le bruit interne associé), alors que la mesure des critères de réponse servira à caractériser le comportement décisionnel des sujets selon leur état phénoménal (« cibles perçues » vs. « cibles non perçues »).

METHODE

Stimuli

La Figure 2 présente le dispositif expérimental utilisé dans cette étude. Les stimuli étaient présentés sur un moniteur LG (Flatron 795FT Plus ; 1024 x 750 pixels ; taux de rafraîchissement de 75 Hertz), sous le contrôle d'un PC. Le stimulus cible était une croix ($0.9^\circ \times 0.9^\circ$; Fig. 2a) dans la première expérience et un carré plein ($0.3^\circ \times 0.3^\circ$; Fig. 2b) dans la seconde. Dans les deux cas, la cible était superposée à un pattern global de forme carrée ($8.2^\circ \times 8.2^\circ$) consistant en 7×7 croix bleues ($0.7^\circ \times 0.7^\circ$; 67.3 cd/m^2) animées d'un mouvement rotatoire (sens horaire) centré sur le centre de l'écran et ayant une vitesse angulaire de 2,62 radians/sec. La cible était située à 2.7° du centre du pattern en mouvement. L'ensemble de la configuration était présenté sur un fond de luminance moyenne de 13.9 cd/m^2 à 70 cm de l'observateur. La cible pouvait prendre plusieurs valeurs de luminance (luminances de référence, détaillées ci-dessous), et celles-ci restaient fixes tout le long d'une session expérimentale. La tâche des sujets était de détecter un changement de luminance de la cible (incrément ou décrément) qui était appliqué après pression de la barre espace (ou, selon la convenance du sujet, du bouton central de la souris), indiquant, selon la condition étudiée, la perception phénoménale qu'avaient les sujets de cette cible (visible ou non).

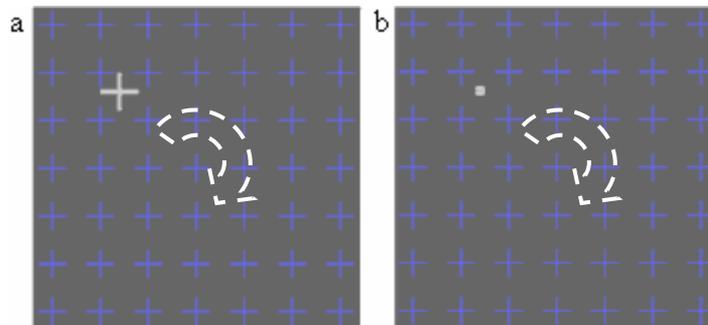


Figure 2. Dispositifs utilisés pour cette étude. La cible (croix pour la première expérience, a, et carré pour la seconde, b) disparaît et réapparaît lorsque le pattern formé par les croix bleues est en mouvement.

Procédure

Expérience 1 : mesure des fonctions TvC

Cette première expérience visait à déterminer les seuils de détection d'incrément et de décrément de luminance de la cible en fonction de sa luminance de référence, et selon l'état

phénoménal du sujet. La technique utilisée était celle de l'escalier psychophysique combinée avec un paradigme de choix forcé à deux alternatives (2AFC).

Les sujets devaient fixer le centre du pattern en mouvement (croix centrale dans la Fig. 1), et appuyer sur la barre d'espace, selon la condition expérimentale, soit lorsque lorsqu'ils percevaient la cible et étaient prêts pour un nouvel essai, soit lorsque la cible disparaissait. (Dans ce dernier cas le sujet était instruit de ne considérer que les disparitions complète de la croix cible.) Soixante ms après l'appui, un incrément ou – toujours selon la condition expérimentale – un décrétement de luminance transitoire (100 ms) était appliqué aléatoirement à l'une des deux barres de la croix cible et, sans contrainte temporelle, les sujets devaient indiquer par l'appui d'un des deux boutons de la souris la barre (verticale ou horizontale) ayant subi cette modification. Que le sujet eût eu le temps de répondre ou non, l'ensemble du dispositif (croix cible et croix en mouvement) disparaissait 840 ms après l'incrément/décrétement de la cible. Le sujet lançait à sa convenance un nouvel essai en pressant la barre d'espace.

Alors que la durée d'une session expérimentale pour la condition phénoménale « cible présente » était peu variable et durait en moyenne 4 min, elle était beaucoup plus variable (entre sujets, ainsi que pour un même sujet d'un essai à l'autre) pour la condition « cible invisible » et durait en moyenne 7 min.

L'amplitude de l'incrément/décrétement était diminuée de 2dB suite à trois réponses correctes consécutives et augmentée d'autant suite à une réponse erronée (cette règle fait converger l'escalier psychophysique vers une performance moyenne de 79% - MacMillan & Creelman, 1991). Une session expérimentale était arrêtée après 14 inversions de l'escalier psychophysique, et le seuil de discrimination était calculé en prenant la moyenne des six dernières inversions. Les seuils des incréments et des décrétements ont été mesurés indépendamment, chacun pour les deux états phénoménaux (visible/invisible) et pour 7 luminances (ou contrastes¹) de la cible (vis-à-vis du fond- :13.9 (0), 15 (.08), 17.1 (.23), 21.4 (.54), 26.7 (.92), 33.9 (1.43), et 43.3 (2.12) cd/m² à l'exception toutefois des seuils de décrétement qui n'ont pas pu être mesurés pour les valeurs 13.9 et 15². Chaque mesure de seuil a été répétée 3 fois.

¹ Calculé comme un rapport de Weber entre cible et fond.

² Afin d'éviter des contrastes négatifs vis-à-vis du fond, les seuils de décrétement dépassant la valeur relative du piédestal vis-à-vis du fond (15-13,9=1.1 cd/m²), n'ont pas pu être mesurés. Notez aussi que pour la cible égale à la luminance du fond, 13.9 – donc *physiquement* invisible –, la séparation phénoménale entre visible et invisible n'avait pas de sens.

Expérience 2 : mesure des critères

Dans cette expérience les seuils d'incrément et de décrétement ont été mesurés avec la méthode Oui/Non : lors de l'appui du sujet désignant son état phénoménal, un incrément ou décrétement était appliqué ou non (avec une probabilité .5) à une cible carré de luminance fixe (33.9 cd/m²) et le sujet devait préciser s'il avait vu ou non un changement de luminance. Ceci permettait la mesure du d' et du critère de réponse, c , du sujet. L'état phénoménal, le signe du changement de luminance, ainsi que la grandeur de ce changement étaient fixés lors d'un bloc expérimental de 100 essais. Chaque bloc a été répété 3 fois, de sorte que chaque d' et c a été calculé sur la base de 300 essais. La durée moyenne d'une session de type « cible invisible » était de 10 minutes, alors qu'elle était de 8 minutes pour la condition « cible présente ».

Trois valeurs d'incrément et de décrétement ont été fixées lors d'essais préliminaires afin d'obtenir des sensibilités (d') relativement écartées pour tous les sujets, à savoir 1.66, 2.23 et 3.48 dB.

Dans sa totalité, cette expérience a requis une douzaine d'heures de passation effective pour chaque sujet, réparties sur plusieurs jours. A cela s'ajoute des essais préliminaires où les sujets se familiarisaient aux tâches expérimentales.

Sujets

Quatre sujets naïfs et l'auteur, tous âgés de 23-24 ans ont participé aux deux expériences. Ils avaient tous une vue normale ou corrigée.

Plans expérimentaux

Soit S le facteur Sujets, SI le facteur Signes (incrément/décérement), L le facteur Luminances de la cible, E le facteur Etats phénoménaux (cible visible/invisible) et A le facteur Amplitude de l'incrément/décréments, le plan expérimentale pour l'Expérience 1 était $S_5 * SI_2 * L_5 * E_2$ et celui de l'expérience 2 était $S_5 * SI_2 * A_3 * E_2$.

RESULTATS

Expérience 1 : mesure des fonction TvC

La figure 3 présente les seuils d'incrément (Fig. 3a) et de décrément (Fig. 3b) en fonction de la luminance et de la visibilité de la cible, pour les cinq sujets ainsi que leur moyenne entre sujets. Comme cela a été dit dans la note 2 ci-dessus, le statut des seuils relatifs à l'état phénoménal du sujet pour la cible *physiquement* invisible est ambigu. De ce fait, ce point est représenté dans la Figure 3a comme appartenant à la fois à la condition visible et invisible. Les courbes pleines (condition visible) et discontinues (condition invisible) sont les ajustements du modèle de Bruit Equivalent. Les données indiquent que les seuils augmentent avec la luminance de la cible quelque soit l'état phénoménal. Ceux-ci ne diffèrent pas de façon avérée selon l'état phénoménal des sujets, le rapport invisible/visible moyen étant, pour tous les sujets confondus, 1.04 pour les incréments et 1.11 pour les décréments.

Une comparaison entre les moyennes des seuils entre sujets selon le signe de la variation (Fig. 4) indique une supériorité légère mais systématique des seuils d'incrément (carrés), en particulier lorsque la cible est perçue (Fig. 4a). Le rapport moyen entre les deux signes est 1.14 et 1.08 respectivement pour les cibles visibles et invisibles (Fig. 4b).

Analyse statistique des seuils

Une ANOVA à mesures répétées à quatre facteurs (Sujets, Signe, Luminance de la cible et Etat phénoménal) a été effectuée sur les valeurs \log^3 des seuils. Seules les cinq luminances de la cible utilisées pour toutes les conditions (cf. la section Méthode) ont été prises en compte. Comme l'inspection descriptive le suggérait, le facteur état phénoménal est non significatif [$F(1,4) = 3.61$; ns]. Une différence significative est retrouvée entre les signes [$F(1,4) = 12.5$; $p < .05$], ce qui est cohérent avec certaines études qui montrent une sensibilité plus élevée pour les décréments de luminance (Whittle, 1986 ; Wolfson & Graham, 2001), bien que ceci ne soit une règle générale (Vingrys & Mahon, 1996). Enfin, l'ANOVA montre aussi un effet significatif de la luminance de la cible [$F(4,16) = 430.32$; $p < 0.001$]. Des interactions significatives sont observées entre l'état phénoménal et la luminance de la cible [$F(4,16) = 5.4$; $p < 0.01$], le signe et la luminance de la cible [$F(4,16) = 7.4$; $p < 0.01$], mais pas entre le signe et l'état phénoménal [$F(4,16) = .09$; ns]. Des comparaisons partielles

³ La fonction TvC donnée par le modèle du BE est invariante à des translations verticales ou horizontales dans un espace log-log. Ceci justifie donc l'utilisation des valeurs log des seuils pour l'ANOVA.

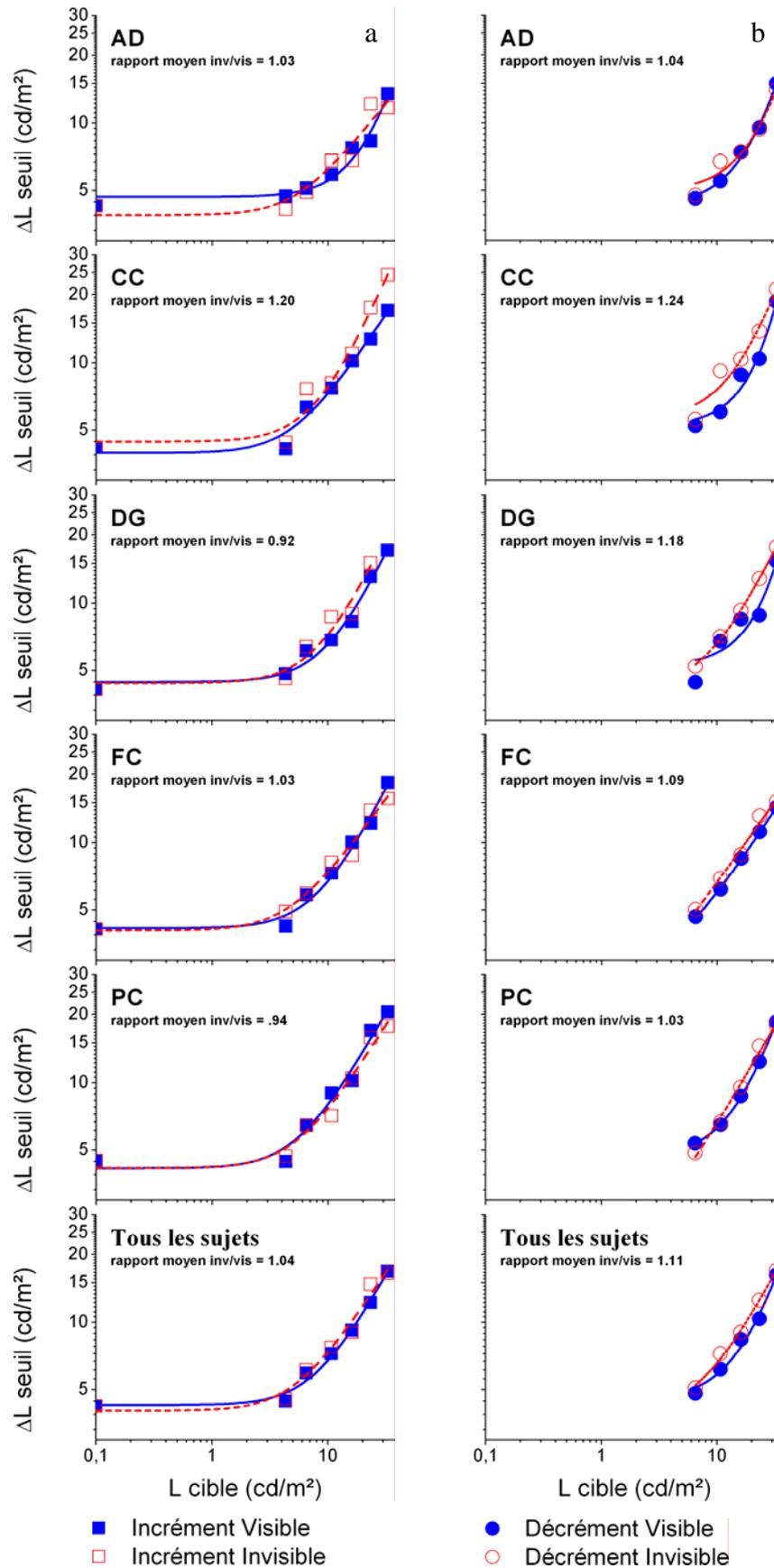


Figure 3. Seuils de détection d'incrément (a ; carrés) et de décrémentation (b ; cercles) pour les 5 sujets, ainsi que la moyenne, en fonction de la luminance de la cible et de l'état phénoménal (symboles pleins : cibles visibles ; symboles vides : cibles invisibles). Les courbes pleines et discontinues sont les ajustements du modèle décrit dans le texte.

réalisées sur le facteur l'état phénoménal pour chaque niveau de luminance montrent que les seuils ne diffèrent que pour une seule valeur, à savoir 33.9 cd/m^2 [$F(4,16) = 13.16$; $p < 0.05$]. (Cette valeur a d'ailleurs été utilisée pour l'Expérience 2.) Des comparaisons partielles réalisées sur le facteur signe montrent des effets significatifs pour chaque niveau de luminance de la cible à l'exception de la luminance la plus élevée [$F_{17.1}(1,4) = 21.60$, $p < .01$; $F_{21.4}(1,4) = 15.95$, $p < .05$; $F_{26.7}(1,4) = 9.38$, $p < .05$; $F_{33.9}(1,4) = 9.38$, $p < .05$; $F_{43.3}(1,4) = 0.63$, ns]. Finalement, l'interaction entre les trois facteurs principaux n'est pas significative [$F(4,16) = .31$; ns].

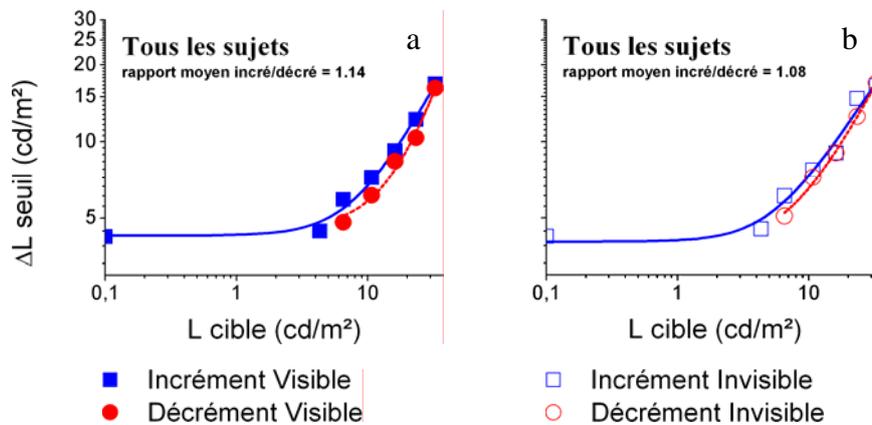


Figure 4. Seuils de détection d'incrément (carrés) et de décrément (cercles) en fonction de la luminance de la cible lorsque celle-ci est visible (a, symboles pleins) et invisible (b, symboles vides). Les courbes pleines et discontinues sont les ajustements du modèle décrit dans le texte.

En résumé, l'analyse statistique indique que les seuils de discrimination de luminance ne dépendent pas de l'état phénoménal des sujets (avec l'exception d'une seule valeur de luminance de la cible sur les 5 niveaux testés), mais qu'ils sont systématiquement plus élevés pour les incréments que pour les décréments. Dans la mesure où les seuils de discrimination mesurés ici sont sensés refléter l'état global du système sensoriel proprement dit, l'on peut conclure à ce stade d'analyse que le phénomène MIB n'est pas dû à un changement de cet état. En ceci, le MIB révèle une autre de ses particularités vis-à-vis d'autres phénomènes d'instabilité perceptive, et en particulier vis-à-vis de la rivalité binoculaire (Watanabe et al., 2004). Toutefois, l'affirmation que l'état du système sensoriel sous-jacent au MIB reste inchangé pourrait être prématurée. En effet, la variation comme la constance des seuils entre deux conditions arbitraires peut être due à la variabilité ou constance d'un ensemble de paramètres tels que le gain du système, sa fonction de transduction et son bruit interne. L'analyse de ses paramètres est abordée ci-dessous par l'intermédiaire de l'ajustement des seuils mesurés avec le modèle de Bruit Equivalent.

Ajustement des seuils avec le modèle de Bruit Equivalent (BE)

Les ajustements avec le modèle de BE (équation 3) ont été faits en utilisant un $d' = 1.14$, c'est-à-dire la valeur correspondant au niveau de performance théorique vers lequel converge l'escalier psychophysique utilisé (79% ; MacMillan & Creelman, 1991). Les seuils d'incrément et de décrément étant significativement différents, les ajustements ont été réalisés séparément pour chacune de ces conditions.. Les ajustements des seuils d'incrément pour les deux états phénoménaux (cible visible/invisible) ont été faits chacun sur l'ensemble des sept luminances de la cible utilisées et en utilisant le même seuil mesuré lorsque la cible était *physiquement invisible*. Ceci est justifié par le fait que le statut des états phénoménaux est indéterminé pour cette condition. Pour les décréments, les ajustements ont été faits sur les cinq points expérimentaux effectivement mesurés (c.-à-d. à l'exclusion des deux luminances de la cible les plus basses). Il se peut donc que les trois paramètres du modèle (k , σ_i , n) estimés pour les seuils incrémentaux et décrémentaux diffèrent de ce fait. Toutefois, cette étude portant sur les différences éventuelles de ces paramètres entre les deux états phénoménaux, leur comparaison pour les deux signes de variation n'est pas critique.

Les ajustements avec le modèle du BE ont été obtenus avec la méthode de Levenberg-Marquardt (réalisée par avec le logiciel OriginPro v7.5). Cet algorithme permet l'ajustement aux moindres carrés de modèles non linéaires. Il était considéré que le modèle ajustait correctement les données lorsque la valeur du χ^2 réduit était inférieure à 1, et il était rejeté pour des valeurs supérieures à 2. Le χ^2 réduit était calculé comme suit :

$$\chi_{(p_1, p_2, p_3)}^2 = \frac{\sum [f(x_i; p_1, p_2, p_3) - y_i]^2}{n^{\text{eff}} - P} \quad (4)$$

où p_1 , p_2 et p_3 sont les paramètres du modèle (k , σ_i et n), n^{eff} est le nombre total de points mesurés, P le nombre de paramètres estimés (les degrés de liberté étant donnés par la différence entre n^{eff} et P), x_i la variable indépendante (luminance de la cible), y_i la variable dépendante (les seuils mesurés) et $f(x_i; p_1, p_2, p_3)$ les prédictions du modèle. Pour évaluer la qualité de l'ajustement, le r^2 était calculé avec la formule suivante (Lu & Doshier, 1998) :

$$r^2 = 1 - \frac{\sum (L_{SA} - L_{SM})^2}{\sum (L_{SA} - \overline{L_{SM}})^2} \quad (5)$$

avec L_{SM} les seuils mesurés et L_{SA} les seuils ajustés.

Le Tableau 1 présente les paramètres k , σ_i , n et la qualité des l'ajustements, r^2 , associés aux fonctions TvC de chaque condition expérimentale pour chaque sujet, ainsi que ceux de la

TvC moyenne. Pour les incréments, la valeur moyenne du χ^2 est .21 lorsque la cible est visible et de .07 lorsqu'elle est invisible. Pour les décréments, ces valeurs sont respectivement .38 et .10 pour les conditions visible et invisible. La qualité des ajustements (cf. Tableau 1) varie entre .90 et .99. Une inspection visuelle des moyennes de chaque paramètre estimé indique que le gain (k), ainsi que le bruit interne (σ_i), diminuent lorsque la cible est invisible alors que l'exposant n augmente, ceci étant vrai quelque soit le signe. Il va de soi que, étant données la bonne qualité des ajustements (r^2) et les faibles différences entre conditions des seuils mesurés, les changements observés de ces paramètres n'ont qu'une faible portée sur les seuils ajustés (cf. section *Analyse statistique des seuils*). Notons que la valeurs de la fonction de transduction pour les décréments visible (.64) est proche de ce que l'on trouve habituellement (Foley & Legge, 1981; Gorea & Sagi, 2001 ; Vingrys & Mahon, 1996), contrairement aux autres valeurs (1.05, 1.07 et 1.27) qui n'ont, à notre connaissance, jamais été observées.

Tableau 1. Paramètres des TvC ajustées et qualité des ajustements pour tous les sujets ainsi que la moyenne.

Sujet	Signe	Etat	k	σ_i	n	r^2
AD	Incrément	Visible	10,84	22,23	0,55	0,97
		Invisible	0,82	21,85	1,51	0,90
	Décrément	Visible	10,23	20,36	0,52	0,99
		Invisible	10,05	4,97	0,75	0,98
CC	Incrément	Visible	0,97	5,06	1,29	0,99
		Invisible	2,47	7,74	0,85	0,99
	Décrément	Visible	26,01	34,53	0,25	0,98
		Invisible	4,27	13,41	0,74	0,98
DG	Incrément	Visible	2,82	9,73	0,92	0,99
		Invisible	2,29	8,01	0,93	0,95
	Décrément	Visible	25,57	35,87	0,28	0,93
		Invisible	2,30	8,05	0,98	0,99
FC	Incrément	Visible	2,22	7,91	0,98	0,99
		Invisible	0,73	4,70	1,42	0,97
	Décrément	Visible	1,23	4,06	1,28	0,99
		Invisible	0,81	0,94	1,40	0,98
PC	Incrément	Visible	1,26	5,41	1,12	0,98
		Invisible	1,06	5,30	1,22	0,97
	Décrément	Visible	5,81	14,14	0,67	0,99
		Invisible	1,33	2,06	1,15	0,99
Moyennes	Incrément	Visible	1,88	7,78	1,07	0,99
		Invisible	1,01	5,25	1,27	0,97
	Décrément	Visible	7,06	16,27	0,64	0,99
		Invisible	1,97	7,30	1,05	0,99

Analyse statistique des paramètres estimés

Des T de Student appariés ont été effectués pour chaque paramètre estimé, et ceci pour les deux signes. Contrairement à ce que l'inspection des données laisse suggérer, la diminution du gain observé pour l'état phénoménal « invisible » n'est pas significative, que ce soit pour les incréments [$T(4) = 1.06$; ns], ou les décréments [$T(4) = 1.94$; ns]. Une diminution du bruit interne est mise en évidence pour les décréments [$T(4) = 2.30$; $p < .05$], mais pas pour les incréments [$T(4) = 1.13$; ns]. Enfin pour l'exposant n, là aussi les résultats diffèrent entre les deux signes puisque son augmentation est significative pour les décréments [$T(4) = -3.93$; $p < 0.05$], mais pas pour les incréments [$T(4) = -.91$; ns].

En conclusion, bien que les paramètres (k , σ_i et n) gouvernant le processus de transduction semblent être à première vue modifiés selon l'état phénoménal des sujets, seules une diminution du bruit interne (σ_i) et une augmentation de la fonction de transduction (n) ont été mises en évidence pour les décréments.

Expérience 2 : mesure des critères.

Il s'agissait dans cette seconde expérience de mesurer les critères de réponse, c-s, associés à différentes sensibilités, d'-s, selon l'état phénoménal du sujet (cible visible/invisible). La Figure 5 présente les critères moyens des cinq sujets selon la visibilité de la cible pour les trois valeurs d'incrément (Fig. 5a) et de décrément (Fig. 5b). Il faut noter qu'un observateur est dit « idéal », c'est-à-dire sans biais de réponse, lorsque ses critères sont égaux à 0 (droite coupant l'axe des ordonnées à 0 dans la Fig. 5). Les sujets sont très proches de l'observateur idéal pour la condition « incrément visible » (Fig. 5a, carrés pleins) et globalement plus « libéraux » (critères inférieurs à 0) pour la condition « décrément visible » (Fig. 5b, cercles pleins) et ceci d'autant plus que la valeur du décrément croît. D'une manière générale, les sujets deviennent plus conservateurs (augmentation de la valeur des c-s, c.-à-d. plus de réponses « non ») lorsque la cible est invisible, et ceci quelque soit le signe. L'état phénoménal « cible invisible » est associé à une augmentation moyenne des critères de $.23 \sigma$ pour les incréments et de $.18 \sigma$ pour les décréments.

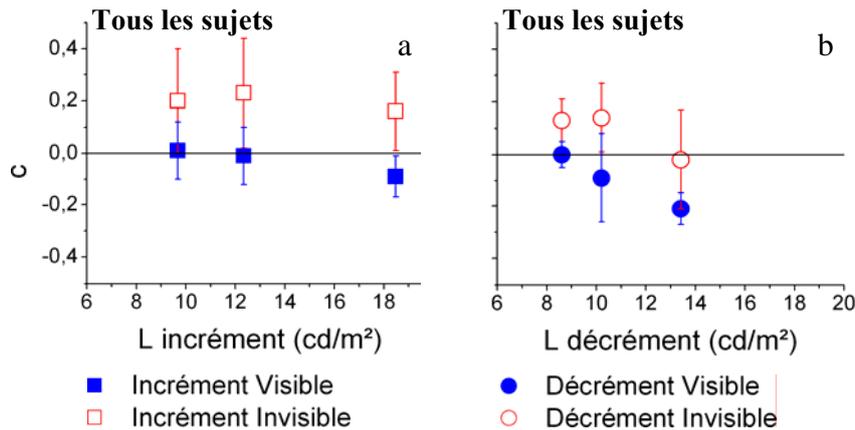


Figure 5. Critères moyens des sujets selon l'état phénoménal (symboles pleins : cibles visibles ; symboles vides : cibles invisibles) pour les trois valeurs d'incrément (a : carrés) et de décrétement (b : cercles).

Analyse statistique des c-s

Une ANOVA à mesures répétées à quatre facteurs (Sujet, Signe, Amplitude de la variation et Etat phénoménal) a été effectuée. Celle-ci indique que les critères augmentent significativement pour les cibles invisibles [$F(1,4) = 9.65$; $p < .05$]. La différence entre les signes n'est pas significative [$F(1,4) = 6.68$; ns], alors que la variation des critères avec l'amplitude de la variation l'est [$F(1,4) = 10.01$; $p < .01$]. Nous n'avons pas d'explication satisfaisante à ce propos. Enfin, l'ANOVA ne montre aucune interaction significative entre les facteurs principaux.

En ce qui concerne les d'-s, la Figure 6 montre une baisse pour la condition « cible visible » (symboles vides) pour les incréments (Fig. 6a) comme pour les décrétements (Fig. 6b) et ceci d'autant plus que la variation de luminance est grande. Donc, contrairement à la première expérience, la disparition phénoménale de la cible semble être ici associée à une baisse de la sensibilité. Notons à ce sujet que l'utilisation pour les mesures des *seuils* (les fonctions TvC) d'un escalier psychophysique convergeant à 79% de réponses correctes faisait correspondre ces seuils à un $d' = 1.14$. Ceci est proche des d'-s obtenus ici pour la plus faible variation de luminance, condition où les différences de d' entre conditions « visible » et « invisible » sont en effet minimales. Le rapport moyen, tous sujets confondus, entre les d'-s dans les conditions « invisible » et « visible » est .68 pour les incréments et .59 pour les décrétements.

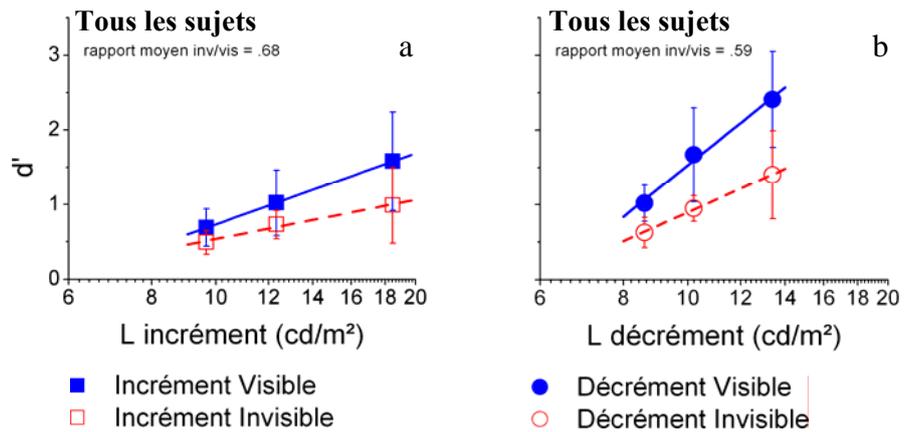


Figure 6. Sensibilités moyennes des sujets selon la visibilité de la cible (symboles pleins : cible visible ; symboles vides : cible invisible) et pour les trois valeurs d'incrément (a : carrés) et de décrément (b : cercles).

Analyse statistique des d' -s

Une ANOVA à mesures répétées à quatre facteurs (Sujet, Signe, Amplitude de la variation et Etat phénoménal) confirme globalement les observations ci-dessus. En effet, l'analyse montre un effet significatif de l'état phénoménal [$F(1,4) = 10.57$; $p < .05$], du signe [$F(1,4) = 131.34$; $p < .001$] et de l'amplitude de la variation [$F(2,8) = 16.59$; $p < .01$]. Les interactions entre les trois facteurs étant significatives, des comparaisons partielles ont été effectuées. Celles-ci confirment une baisse de la sensibilité pour les cibles invisibles (relativement au cibles visibles) pour les décréments [$F(1,4) = 13.41$; $p < .05$], mais pas pour les incréments [$F(1,4) = 6.54$; ns]. Enfin, comme pour la première expérience, une différence est retrouvée entre les signes, que la cible soit visible [$F(1,4) = 76.82$; $p < .001$] ou non [$F(1,4) = 49.79$; $p < .05$].

En résumé cette deuxième expérience a mis en évidence que le MIB est caractérisé aussi bien par des facteurs décisionnels que par une modification transitoire de la sensibilité. Pour ce qui est de cette dernière, elle s'avère d'autant plus importante que le d' est élevé.

DISCUSSION

L'étude présente a évalué la sensibilité aux stimuli cible pendant le MIB avec deux techniques expérimentales (choix forcé couplé à un escalier psychophysique et oui/non), ainsi que les critères de réponse des sujets, selon leur état phénoménal (cible visible/invisible). Dans l'Expérience 1, les seuils de discrimination d'un incrément/décément appliqué à la cible ont été mesurés en fonction de différents niveaux de luminance de celle-ci afin de calculer les fonctions TvC (Threshold versus Contrast ; Foley & Legge, 1981) associées aux deux états perceptifs (visible/invisible). Une variation des seuils n'a pas été retrouvée selon l'état phénoménal du sujet (excepté pour un seul niveau de luminance de la cible), contrairement à ce qui est observé avec le phénomène de rivalité binoculaire (Blake & Camisa, 1979 ; Watanabe & al., 2004) où une perturbation de la cible en phase de suppression est 2 fois moins bien perçue qu'en phase de dominance. Comme toute fonction TvC, celle mesurée ici pour le MIB montre une augmentation monotone des seuils avec la luminance de la cible quelque soit l'état phénoménal du sujet. Enfin, une supériorité dans la détection des décéments est constatée pour les cibles visibles comme invisibles.

Les trois paramètres libres du modèle simplifié de Bruit Equivalent utilisé pour ajuster les résultats de cette première expérience indiquent que, pendant les phases d'invisibilité de la cible, le gain et le bruit interne du processus de transduction diminuent alors que l'exposant du transducteur augmente. La réduction conjointe du gain et du bruit interne explique la faible différence des seuils observés entre les deux états phénoménaux. Quant aux valeurs ajustées de l'exposant n , elles ne corroborent que partiellement la littérature car sont en plusieurs cas supérieures à 1 même pour des cibles visibles (l'exposant typique d'un TvC variant entre .5 et 1, Foley & Legge, 1981 ; Gorea & Sagi, 2001 ; Vingrys & Mahon, 1996). Dans le même temps une analyse statistique des variations de ces trois paramètres ne garantit pas l'hypothèse de leur changement systématique avec l'état phénoménal des sujets.

La variation des paramètres k , σ et n entre les deux états phénoménaux n'est cependant pas associée à une modification notable de la forme des TvC, comme cela a été mis en évidence par Watanabe & al. (2004) avec le phénomène de rivalité binoculaire. Ces auteurs montrent une translation verticale de la TvC, ce qui correspond dans notre contexte expérimental à une réduction du gain (cf. Fig. 1). Aussi ont-ils conclu qu'un masquage (« contrast gain control »), c'est-à-dire une augmentation des seuils d'incrément en fonction du contraste de référence de la cible, peut avoir lieu sans perception consciente de cette cible.

La rivalité binoculaire serait donc caractérisée par une baisse de la sensibilité sans modification de la non linéarité du transducteur et du bruit interne. Une diminution du gain est aussi retrouvée pendant le MIB, néanmoins celle-ci n'est pas statistiquement significative. Toutefois, les résultats de cette première expérience, c'est à dire la constance des seuils entre les deux états phénoménaux due à la variabilité des paramètres k , σ_i et n , indiquerait que le MIB, bien qu'il présente des similitudes avec la rivalité binoculaire (Funk & Pettigrew, 2003 ; Carter & Pettigrew, 2003), n'en n'est pas moins régi par des mécanismes différents.

La seconde expérience était, quant à elle, destinée à mesurer les critères de réponses, c , ainsi que la sensibilité, d' , associés à différentes amplitudes d'incrément et de décrément. Une baisse de la sensibilité pour les cibles invisibles vis-à-vis des cibles visibles est mise en évidence. Bien qu'appréciable à l'inspection visuelle, cette diminution n'est cependant pas significative pour les incréments. La baisse des d' -s observée entre les états phénoménaux visible et invisible est d'autant plus importante que l'amplitude de l'incrément et du décrément est grande. La faible différence entre les seuils mesurés dans l'Expérience 1 pourrait donc être la conséquence de la règle d'inversion utilisée pour l'escalier psychophysique. En effet l'amplitude de l'incrément/décrément était diminuée suite à 3 réponses correctes consécutives et augmentée suite à une réponse erronée (3/1), cette règle faisant converger l'escalier psychophysique vers une performance de détection de 79% soit un d' de 1,14 (MacMillan & Creelman, 1991). De plus, bien que la différence entre les d' -s soit significative pour les valeurs d'amplitude les moins saillantes dans l'Expérience 2, celle-ci reste tout de même faible. Aussi, l'utilisation d'une règle 4:1 pour l'escalier psychophysique, qui est associée à une performance de 84% soit un d' de 1.41, aurait peut être été plus à même (mais beaucoup plus coûteuse en temps) de montrer une différence entre les seuils des deux états phénoménaux. Dans le même temps pour l'Expérience 2, des amplitudes d'incrément plus importantes, donc associées à des d' -s plus élevés, auraient sûrement permis de mettre en évidence une baisse des performances plus importante entre les deux états phénoménaux.

En ce qui concerne les critères de réponse, une augmentation de ceux-ci est observée dans les phases d'invisibilité de la cible en comparaison aux conditions où elle est visible. Ceci reflète un comportement décisionnel plus conservateur (une tendance à répondre plus souvent « non »).

Selon Bonnef & al. (2001), le MIB participerait de la classe de phénomènes relatifs à la compétition entre objets et aux fluctuations attentionnelles sous-jacentes. Il refléterait les limitations du système visuel à traiter des percepts incompatibles (Hsu & al., 2003).

L'hypothèse attentionnelle sous-tendant le MIB ne semble toutefois pas être caractérisée par une augmentation du bruit interne comme des travaux antérieurs auraient pu le suggérer (Lu & Doshier, 1997). Gorea & Sagi (2004) proposent cependant un lien intrinsèque entre l'attention et le comportement décisionnel des sujets. Ces auteurs mettent en évidence que, dans un espace composé de multiple stimuli, les sujets ne manient pas plusieurs critères de décision de façon indépendante (Gorea & Sagi, 2000, 2002). Aussi la modulation des critères de réponse lors du MIB serait, quant à elle, plus enclin à rendre compte de l'hypothèse attentionnelle liée au MIB. La participation de facteurs décisionnels dans la problématique de la conscience perceptive a déjà été évoquée pour d'autres phénomènes bistables (Kast, 2001). Elle a aussi été testée dans certaines pathologies qui sont en lien avec cette problématique, notamment sur l'extinction où une augmentation du critère décisionnel est retrouvée pour le stimulus négligé (Ricci & Chatterjee, 2004).

En conclusion cette étude souligne la complexité du MIB mais aussi son indépendance car celui-ci ne s'intègre pas totalement aux autres phénomènes perceptifs oscillatoires. Celui-ci semblerait toutefois être caractérisé aussi bien par une modification transitoire de la sensibilité que par des facteurs décisionnels. Aussi la réplication de la première expérience, destinée à « accroître » la baisse de sensibilité lorsque la cible est invisible en modifiant la règle de convergence de l'escalier psychophysique, permettrait de préciser les modifications dans la transduction du signal pendant le MIB. Il serait aussi pertinent de tester un possible changement de critère pour d'autres phénomènes instables ce qui n'a, à notre connaissance, jamais été fait. En effet la modulation des critères de réponse, en plus de l'aspect purement sensoriel, reflèterait aussi les limitations attentionnelles dans le traitement des objets visuels.

REFERENCES

- Basar-Eroglu, C., Struber, D., Kruse, P., Basar, E., & Stadler, M. (1996). Frontal gamma-band enhancement during multistable visual perception. *International Journal of Psychophysiology*, 24, 113-125.
- Blake, R. (1989). A neural theory of binocular rivalry. *Psychological Review*, 96, 145-167.
- Blake, R., & Camisa, J. (1979). On the inhibitory nature of binocular rivalry suppression. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 5, 315-323.
- Bonneh, Y., Cooperman, A. & Sagi, D. (2001). Motion-Induced blindness in normals observers. *Nature*, 411, 798-801.
- Boynton, G. M., Demb, J. B., Glover, G. H., & Heeger, D. J. (1999). Neuronal basis of contrast discrimination. *Vision Research*, 39, 257-269.
- Carter, O. L., & Pettigrew, J. D. (2003). A common oscillator for perceptual rivalries? *Perception*, 32, 295-305.
- Campion, J., Latto, R., & Smith, Y.M. (1983). Is blindsight an effect of scattered light, spared cortex, and near-threshold vision? *Behavioral and Brain Sciences*, 6, 423-486.
- Foley, J. M., & Legge, G. E. (1981). Contrast detection and nearthreshold discrimination in human vision. *Vision Research*, 21, 1041-1053.
- Funk, A. P. & Pettigrew, J. D. (2003). Does interhemispheric competition mediate motion-induced blindness? A transcranial magnetic stimulation study. *Perception*, 32, 1328-1338.
- Green, D. M. & Swets, J. A. (1966). *Signal Detection Theory*. New York : Wiley
- Gorea, A. & Sagi, D. (2000). Failure to handle more than one internal representation in visual detection tasks. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 97, 12380-12384.
- Gorea, A. & Sagi, D. (2002). Natural Extinction : A criterion shift phenomenon. *Visual Cognition*, 9, 913-936.
- Gorea, A. & Sagi, D. (2004). On Attention and Decision. In L. Itti, G. Rees & J. Tsotsos (Eds), *Neurobiology of Attention*, Academic Press / Elsevier, pp. 152-159.
- Graf, E. W., Adams, W. J. & Lages, M. (2002). Modulating motion-induced blindness with depth ordering and surface completion. *Vision Research*, 42, 2731-2735.
- He, S., Cavanagh, P., & Intriligator, J. (1996). Attentional resolution and the locus of awareness. *Nature*, 383, 334-338

- Holender, D. (1986). Semantic activation without conscious identification in dichotic listening, parafoveal vision, and visual masking: A survey and appraisal. *The Behavioral and Brain Sciences*, 9, 1-66.
- Hsu, L. C., Yeh, S. L. & Kramer, P. (2004). Linking motion-induced blindness to perceptual filling-in. *Vision Research*, 44, 2857-2866.
- Kanwisher, N. G. (1987). Repetition blindness : Type recognition without token individuation. *Cognition*, 27, 117-143.
- Kastner, S., De Weerd, P., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (1998). Mechanisms of directed attention in the human extrastriate cortex as revealed by functional MRI. *Science*, 282, 108-111.
- Kast, B. (2001). Decisions, decisions. *Nature*, 411, 126-128.
- Lee, S. H., & Blake, R. (2002). V1 activity is reduced during binocular rivalry. *Journal of Vision*, 2, 618-626.
- Lu, Z. L. & Doshier, B. A. (1998). External noise distinguishes attention mechanisms. *Vision Research*, 38(9), 1183-1198.
- Lumer, E. D., Friston, K. J., & Rees, G. (1998). Neural correlates of perceptual rivalry in the human brain. *Science*, 280, 1930-1934.
- Mack, A. & Rock, I. (1998). *Inattentional Blindness*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Macmillan, N. A. & Creelman, C. D. (1991). *Detection Theory: A User's Guide*. New York: Cambridge University Press.
- Montaser-Kouhsari, L., Moradi, F., Zandvakili, A. & Esteki, H. (2004). Orientation-selective adaptation during motion-induced blindness. *Perception*, 33, 249-254.
- Mueller, T. J. & Blake, R. (1989). A fresh look at the temporal dynamics of binocular rivalry. *Biological Cybernetics*, 61, 223-232.
- Pelli, D. (1987). On the relation between summation and facilitation. *Vision Research*, 27, 119-123.
- Pelli, D. G. (1990). The quantum of efficiency of vision. In C. Blackmore (Ed), *Vision: coding and efficiency* (pp. 3-24). Cambridge, U.K.: Cambridge University press.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L. & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 849-860.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K. & Clark, J. J. (1997). To see or not to see: the need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8(5), 368-373.

- Ricci, R., & Chatterjee, A. (2004). Sensory and response contributions to visual awareness in extinction. *Experimental Brain Research*, 157, 85-93.
- Stevens, S. S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review*, 64, 153–181.
- Tong, F. (2001). Competing Theories of Binocular Rivalry: A Possible Resolution. *Brain & Mind*, 2, 55-83.
- Tong, F. (2003). Primary visual cortex and visual awareness. *Nature Review Neuroscience*, 4, 219-229.
- Vingrys, A. J. & Mahon, L. E. (1998). Color and luminance detection and discrimination asymmetries and interactions. *Vision Research*, 38, 1085-95.
- Watanabe, K., Paik, Y., & Blake, R. (2004). Preserved gain control for luminance contrast during binocular rivalry suppression. *Vision Research*, 44, 3065-3071.
- Whittle, P. (1986). Increments and decrements: luminance discrimination. *Vision Research*, 26, 1677-91.
- Wolfson, S. S. & Graham, N. (2001). Comparing increment and decrement probes in the probed-sinewave paradigm. *Vision Research*, 41, 1119-1131
- Wilke, M., & Logothetis, N. K. & Leopold, D. A. (2003). Generalized flash suppression of salient visual targets. *Neuron*, 39, 1043-1052.