

2m11.2820.10

Université de Montréal

Étude de la complétion modale et amodale  
par la technique des potentiels évoqués

par

Mathieu Brodeur

Programme de Sciences Biomédicales

Faculté de Médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maître  
ès sciences (M.Sc.) en sciences biomédicales

Avril 2000

© Mathieu Brodeur, 2000



51.0883.1175

Université de Montréal

Titre de la communication ou de l'ouvrage  
par la technique des protocoles sociaux

W  
4  
U58  
2000  
N.108

Attestation de dépôt de la communication  
en vue de l'inscription de la communication  
à la bibliothèque de l'Université de Montréal

Année 2000

de la bibliothèque de l'Université de Montréal



Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé:

Étude de la complétion modale et amodale  
par la technique des potentiels évoqués

présenté par  
Mathieu Brodeur

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes:

---

Martin Arguin

président-rapporteur

Bruno Debruille

directeur de recherche

Jocelyn Faubert

membre du jury

---

Mémoire accepté le:

## Sommaire

Notre système visuel traite continuellement des images composées d'objets dont certaines parties sont cachées par d'autres objets ou difficiles à distinguer du fond à cause d'un manque de contraste des bordures. Malgré ces obstacles, les objets sont perçus comme étant complets et entiers grâce à leur complétion. Cette complétion peut parfois s'accompagner d'effets illusoire qui consistent en 1) la présence illusoire de bordures aux endroits où n'y en a pas, 2) l'impression que l'objet est plus lumineux que le fond et 3) l'impression que l'objet est en avant-plan de l'image. Si de tels effets sont présents, la complétion est dite modale, dans le cas échéant, elle est dite amodale. Le but de ce projet était d'explorer les processus de la complétion modale et amodale à l'aide de la technique des potentiels évoqués. Dans l'expérience, six différentes figures ont été présentées 60 fois chacune à 29 sujets. De ces figures, une est un triangle modal, i.e. un triangle complété qui s'accompagne des effets illusoire décrits ci-dessus, et une autre est un triangle amodal, i.e. un triangle qui paraît entier mais qui n'entraîne pas d'effet illusoire. Les autres figures étaient deux triangles complets, un contrôle avec un triangle incomplet (qui paraît morcelé contrairement aux figures complétées) et un contrôle sans triangle. Les potentiels évoqués par chaque figure ont été enregistrés puis comparés les uns entre les autres. Ces comparaisons ont permis d'explorer les corrélats électrophysiologiques des processus impliqués dans la complétion et l'induction des effets illusoire. Nos résultats ont montré que la déflexion électrique qui survient 170 ms après l'apparition des figures (la N170) est liée à un processus d'assemblage et que l'assemblage du triangle modal entraîne autant d'activité que l'assemblage des triangles complets. Deux déflexions qui surviennent un peu après, la P220 (après 220 ms) et la N260 (après 260 ms) seraient corrélés à une interprétation, par des processus cognitifs, de l'ensemble de la forme et de ses niveaux de profondeur.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX .....	vii
LISTE DES FIGURES .....	viii
INTRODUCTION .....	1
CONTEXTE THÉORIQUE .....	5
La complétion .....	6
Complétion modale et amodale .....	7
Les figures illusoirs .....	10
Les processus de la complétion .....	13
Modulation des effets illusoirs .....	17
Microgénèse de la complétion .....	24
Potentiels évoqués de la complétion .....	30
Objectifs .....	33
MÉTHODOLOGIE .....	36
Sujets .....	37
Stimuli.....	37
Procédure .....	38
Enregistrement de l'électroencéphalogramme .....	39
Analyse des potentiels évoqués .....	40
RÉSULTATS.....	41
Évaluation des effets illusoirs .....	42
Réponses et temps de réaction .....	42

Potentiels évoqués .....	44
INTERPRÉTATION .....	52
BIBLIOGRAPHIE .....	59

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Évaluation des effets illusoirs .....	42
Tableau II: Temps de réaction.....	43

## LISTE DES FIGURES

Indique les endroits où sont situés les figures dans l'ouvrage, même si ces figures apparaissent à la fin de l'ouvrage à cause de leur grandeur).

Figure 1	Image .....	3
Figure 2	Cube de Necker complété avec des barres placées en avant .....	6
Figure 3	Cube de Necker incomplet sans barre placée en avant .....	6
Figure 4	Cube de Necker noir complété avec des barres complétés .....	8
Figure 5	Cube de Necker complété avec des barres complétées .....	8
Figure 6	Figure modale et amodale .....	10
Figure 7	Figure bistable .....	10
Figure 8	Triangle de Kanizsa .....	10
Figure 9	Triangle amodal .....	10
Figure 10	Triangle modal courbé .....	12
Figure 11	Rectangle transparent .....	12
Figure 12	Carré modal .....	12
Figure 13	Triangle modale avec des inducteurs en cercles concentriques ....	12
Figure 14	Carré modal avec des inducteurs complets en forme de croix .....	12
Figure 15	Triangle avec des inducteurs tournés .....	12
Figure 16	Triangle avec des inducteurs complets délimités par un contour ...	12
Figure 17	Figure de lignes .....	13
Figure 18	Figure d'Ehrenstein .....	13
Figure 19	Figure d'une ségrégation de texture .....	19
Figure 20	Figure de texture uniforme .....	19
Figure 21	Figure avec peu d'aire de contraste .....	16
Figure 22	Figure avec des inducteurs peu contrastés .....	16
Figure 23	Figure ambiguë de deux triangles modales superposés .....	23
Figure 24	Figure d'Ehrenstein avec la polarité du contraste des inducteurs alternée .....	23
Figure 25	Triangle modal noir .....	23

Figure 26	Figure sans bordure illusoire .....	20
Figure 27	Figure sans luminance illusoire .....	20
Figure 28	Figure sans effet de profondeur .....	20
Figure 29	Croix de Koffka .....	22
Figure 30	Figure d'un 'N' illusoire .....	22
Figure 31	Figure d'un 'Z' illusoire .....	22
Figure 32	Triangle modal avec des inducteurs complets en forme de croix ..	23
Figure 33	Triangle modal avec des inducteurs irréguliers .....	23
Figure 34	Triangle modal avec des indices de profondeur conflictuels .....	23
Figure 35	Amorce complète et deux cibles complètes .....	26
Figure 36	Amorce partiellement cachée et deux cibles incomplètes .....	26
Figure 37	Amorce partiellement cachée et deux cibles complètes .....	26
Figure 38	Inducteur incomplet .....	28
Figure 39	Inducteur complet selon l'approche locale .....	28
Figure 40	Inducteur complet selon l'approche globale .....	28
Figure 41	Inducteur incomplet symétrique sur l'axe vertical .....	29
Figure 42	Inducteur incomplet symétrique sur l'axe horizontal .....	29
Figure 43	Figure avec une texture uniforme .....	32
Figure 44	Figure avec une ségrégation de texture .....	32
Figure 45	Figure avec une ségrégation de texture et une complétion amodale .....	32
Figure 46	Figure avec une ségrégation de texture sans complétion amodale	32
Figure 47 A:	Figure de l'expérience – Triangle modal .....	34
Figure 47 B:	Figure de l'expérience – Contour de triangle .....	34
Figure 47 C:	Figure de l'expérience – Surface de triangle gris .....	34
Figure 49 D:	Figure de l'expérience – Contrôle sans triangle .....	35
Figure 49 E:	Figure de l'expérience – Contrôle sans triangle .....	35
Figure 47 F:	Figure de l'expérience – Triangle amodal .....	35
Figure 48	Potentiel évoqué de la comparaison du triangle modal et du contour de triangle .....	45
Figure 48	Potentiel évoqué de la comparaison du triangle modal et du triangle	

	gris .....	47
Figure 48	Potentiel évoqué de la comparaison du triangle modal et du contrôle sans triangle .....	48
Figure 48	Potentiel évoqué de la comparaison du contrôle avec triangle et du contrôle sans triangle .....	49
Figure 48	Potentiel évoqué de la comparaison du triangle modal et du contrôle avec triangle .....	50
Figure 48	Potentiel évoqué de la comparaison du triangle modal et du triangle modal .....	50
Figure 54	Figure de Pogendorff avec des bordures illusoires .....	55
Figure 55	Figure de Ponzo avec des bordures illusoires .....	55

## **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

Le système visuel est le système sensoriel le plus développé du cerveau des primates. Chez le macaque, ce système s'étend sur 32 aires corticales et occupe la moitié du néocortex (Kosslyn et al., 1995; Sereno et al., 1995). Son étude a été marquée en particulier par les travaux de Hubel et Wiesel (voir Reid et Alonso, 1996 pour un résumé) et de Zeki (voir Zeki, 1990 pour un résumé). Ces auteurs ont étudié les mécanismes neurophysiologiques impliqués dans le traitement de la forme, des couleurs et du mouvement. Leurs travaux ont considérablement amélioré la compréhension du fonctionnement et de la distribution de ces mécanismes dans le cerveau. Bien que la majorité de leurs observations aient porté sur le cortex occipital, de nombreux autres auteurs ont démontré que le traitement de l'information visuelle se poursuivait dans les cortex temporal et pariétal (Baylis et al., 1985, 1987; Desimone, et al., 1984; Gross et al., 1972; Kobatake et al., 1998; Logothetis et al., 1995; Perrett et al., 1982; Rolls, 1984; Tanaka, 1996; Wallis et Rolls, 1997; Yamane et al., 1988; Young et Yamane, 1992), les amygdales (Leonard et al., 1985; Rolls, 1984) et le lobe préfrontal (Scalaidhe et al., 1997; Wilson et al., 1993).

Selon le modèle généralement admis, le traitement de la forme et de la couleur va du cortex occipital au temporal alors que le traitement du mouvement et de la position va du cortex occipital au pariétal (Miyashita, 1993). Plus le traitement s'éloigne du cortex occipital, plus les cellules traitent des aspects globaux et complexes de l'image. Le champ récepteur des cellules est plus grand et leur réponse dépend de plus en plus de la nature du stimulus et de moins en moins de ses caractéristiques physiques. Par exemple, certaines cellules du cortex temporal ne réagiraient qu'à la présentation du visage d'une personne en particulier et ce, indépendamment de sa position.

Les connaissances sur la structure fonctionnelle du système visuel sont tirées d'expériences dans lesquelles le stimulus présenté est entier et isolé de tout contexte. Dans la vie courante, très peu d'objets sont vus ainsi. Souvent, un autre objet est placé

devant ce qui occasionne la perte d'une partie de l'objet (figure 1 dans laquelle les assiettes d'en avant sont partiellement cachées par le bol). Dans des situations plus rares, l'intensité de la lumière émise par l'objet peut être égale à l'intensité de celle émise par le fond et faire ainsi disparaître la bordure entre l'objet et le fond. Par exemple, toujours dans la figure 1, la bordure entre une partie des assiettes du fond est invisible à cause des reflets de lumière.

Figure 1



Lorsqu'aucun obstacle n'obstrue la vue d'un objet, le passage de la lumière est quand même bloqué par les vaisseaux sanguins de la rétine. Malgré ces obstacles, le système visuel parvient à produire des images d'objets qui paraissent complets. Le modèle actuel de la structure fonctionnelle du système visuel permet d'expliquer le traitement des parties visibles des objets incomplets. En revanche, il ne permet pas d'expliquer comment le système visuel parvient à compenser le manque d'information causée par les obstacles. Des processus supplémentaires, appelés processus de complétion, doivent donc intervenir.

Quels sont ces processus et comment fonctionnent-ils? C'est pour apporter une réponse préliminaire à ces questions qu'a été élaboré le présent projet dans lequel ces processus seront explorés par la technique des potentiels évoqués. Cette technique permettra: 1) d'identifier les composantes de l'activité électrique cérébrale qui correspondent aux processus de complétion et 2) de faire une analyse du moment précis de leur survenue. Les objectifs seront présentés à la fin du contexte théorique afin de permettre au lecteur de prendre d'abord connaissance de la théorie sur laquelle sont fondés ces objectifs.

## **CONTEXTE THÉORIQUE**

## CONTEXTE THÉORIQUE

Dans ce contexte théorique, une définition complète de la complétion sera donnée et des figures qui induisent la complétion seront présentées. Suivra ensuite l'exposé des processus qui activent et modulent la complétion puis la présentation de leur déroulement temporel, i.e. la microgénése. Quelques expériences avec l'enregistrement de potentiels évoqués termineront le contexte théorique.

### LA COMPLÉTION

Comme nous l'avons vu en introduction, l'absence d'une partie d'un objet n'empêche pas l'objet de paraître complet et entier. La figure 2 illustre bien cette impression. On peut y voir un cube partiellement caché par trois barres placées en avant. Les barres cachent quelques parties du cube (les parties manquantes) et séparent les parties visibles en huit. Ces huit parties sont facilement assemblées par le système visuel permettant ainsi l'identification du cube.

Figure 2

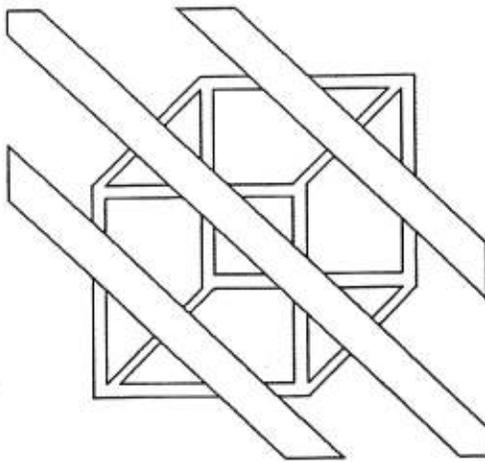
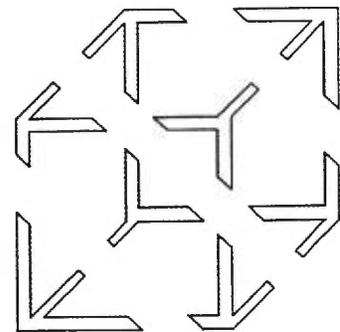


Figure 3



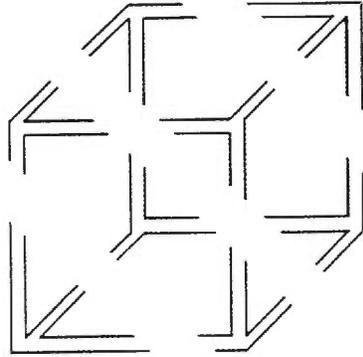
En plus de l'assemblage des parties visibles du cube, le système visuel permet d'imaginer les parties manquantes derrière les barres, et de les assembler aux parties visibles, complétant ainsi le cube qui paraît alors entier. Cela ne se produit pas si les barres sont enlevées, comme dans la figure 3. Dans cette dernière figure, le cube que l'on peut (plus difficilement) voir n'est pas complété et ne paraît pas entier.

Pourquoi y a-t-il complétion du cube de la figure 2 et non de la figure 3? Ceci dépend de beaucoup de conditions. L'une des plus importantes est la superposition de deux formes (un obstacle et un objet partiellement caché). Dans la figure 3, il n'y a pas d'obstacle en avant du cube. Sans obstacle, les interruptions des parties visibles ne sont pas justifiées. Ces dernières sont alors traitées comme des objets en soit. Il faut toutefois noter que la figure 3 n'est pas écologique. Très peu d'objets réels sont morcelés sans qu'un obstacle en soit la cause. Plus loin, nous présenterons d'autres conditions nécessaires à la complétion.

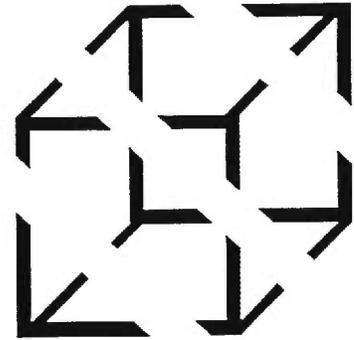
### **COMPLÉTION MODALE ET AMODALE**

Jusqu'à maintenant, nous avons considéré que les formes susceptibles d'être complétées sont celles qui sont partiellement cachées par un obstacle. Toutefois, une forme peut être incomplète sans qu'un obstacle ne soit situé devant. Dans les figures 4 et 5, le contour des barres a été totalement retiré, même aux endroits où elles coupent les arêtes du cube. Aucun contraste ne permet plus de voir ces barres excepté aux endroits où elles coupent les arêtes du cube. Ce sont les intersections des arêtes et des bordures invisibles qui permettent la complétion des barres.

Figure 4



Figures 5



La complétion du cube et des barres se manifeste différemment. Les barres semblent être limitées par des bordures et paraissent plus blanches que le fond (Petry et Meyer, 1987). Considérant ces impressions, Michotte (1951) a désigné cette complétion sous le terme de *complétion modale*. Les formes complétées modalement ont été identifiées sous plusieurs appellations comme forme illusoire, virtuelle, fantôme ou cognitive (Petry et Meyer, 1987). Pour cette étude, nous emploierons le terme de *forme modale*. Les parties visibles qui permettent d'induire la perception de la forme modale sont appelés *inducteurs*.

La complétion du cube, quant à elle, ne s'accompagne pas de la vision illusoire des parties manquantes. C'est ce que Michotte (1951) a appelé *complétion amodale*. La forme complétée ainsi ne porte pas de nom spécifique, pour l'identifier, nous l'appellerons *forme amodale*. Les inducteurs de la complétion amodale sont un ou des obstacle(s) placé(s) en avant de la forme. Ces obstacles peuvent, comme le démontre les figures 4 et 5, être des formes modales. (Davis et Driver, 1998).

Deux autres caractéristiques distinguent les complétions modales et amodales. Premièrement, les formes modales sont toujours en avant-plan de l'image alors que les formes amodales sont en arrière-plan. Deuxièmement, l'invisibilité partielle de la

forme modale est due à une absence de contraste alors que pour la forme amodale, cette invisibilité est plutôt due à la présence d'un obstacle. À l'opposé des formes modales, les formes amodales ont très peu été étudiées étant donné l'absence d'illusion dans ces figures.

Le rapport qui existe entre la complétion modale et amodale est complexe. Pour certains, la forme modale est induite suite à la complétion amodale des inducteurs (Dumais et Bradley, 1976; Kanizsa, 1974; Parks, 1993). Suivant cette logique, les barres (formes modales) de la figure 4 et 5 ne peuvent être complétées qu'après la complétion amodale du cube. Mais plusieurs auteurs (Bonaiuto et al., 1991; Day et Kasperczyk, 1983; Parks, 1990; Purghé, 1991; Purghé et Katsaras, 1991; Purghé et Coren, 1992a) ont démontré que des figures avec des inducteurs complets (figure 14, p.12). pouvaient induire des formes modales, quoique moins saillantes. De plus, la complétion amodale ne peut avoir lieu qu'avec la présence d'un obstacle que constitue justement les barres modales. Or, le cube ne peut pas compléter la forme dont il a besoin pour être lui-même complété.

Pour d'autres auteurs comme Kellman et Shipley (1998, 1992, 1991), les deux complétions seraient issues des mêmes processus. La présence des effets illusoire dépendrait simplement de la position relative de profondeur de la forme (Shipley et Kellman, 1992a). La forme qui est en avant serait toujours accompagnée des effets illusoire que l'on attribue à la complétion modale. Ces auteurs appuient leur raisonnement par des figures comme la figure 6 et par des figures bistables comme la figure 7. La forme ovale blanche de la figure 6 a des parties complétées modalement et d'autres complétées amodalement. La bonne coexistence des deux complétions dans une même forme est un argument en faveur d'un processus commun. La figure bistable (figure 7) illustre deux formes qui se croisent. Chacune de ces formes apparaît parfois en avant, étant ainsi complétée modalement, parfois en arrière, étant alors complétée amodalement. Une même forme peut donc être complétée de deux façons sans qu'aucune modification physique n'y soit apportée ce qui soutient aussi l'idée d'un processus commun de la complétion.

Figure 6

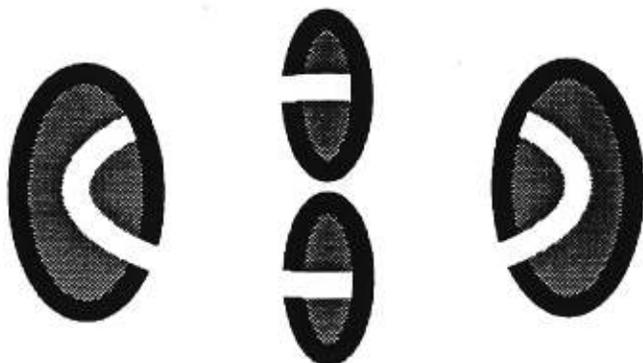


Figure 7



### LES FIGURES ILLUSOIRES

Plusieurs auteurs tels que Helmholtz, Wundt, Ebbinghaus et Titchener ont conçus des figures illusoires sans toutefois les étudier (Purghé et Coren, 1992b). Il faut attendre 1900 et 1904 pour qu'un chercheur, Schumann (voir traduction de Anne Hogg, 1987), présente et discute les effets illusoires. Mais l'intérêt pour la complétion a surtout débuté avec la parution du livre de Kanizsa (1955, voir traduction de Walter Gerbino, 1987) dans lequel il a fait une étude approfondie d'une multitude de figures illusoires. L'une d'elles porte maintenant son nom. La figure de Kanizsa (figure 8) est la figure à complétion modale la plus utilisée.

Figure 8

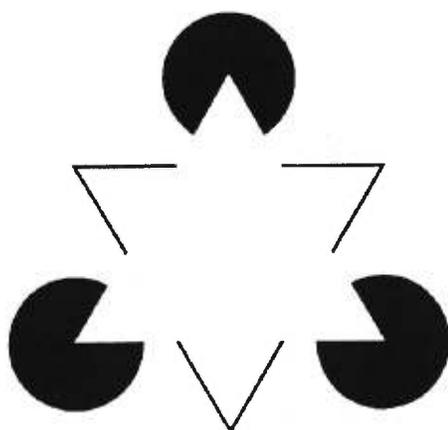
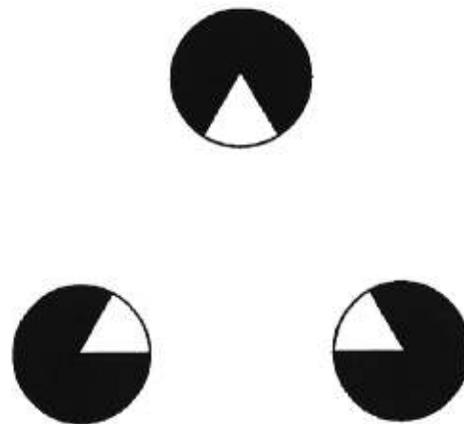


Figure 9



Les inducteurs sont trois disques pleins auxquels il manque une section de 60 degrés. Ces disques sont disposés de manière à ce que les sections manquantes constituent les coins d'un triangle modal. Un inducteur supplémentaire, fait du contour partiel d'un triangle inversé, est placé en arrière du triangle illusoire.

Depuis Kanizsa, les effets illusoires du triangle modal ont été très étudiés, particulièrement au cours des années 70' et 80'. Trois effets illusoires retiennent particulièrement l'attention: 1) la présence de bordures entre les inducteurs délimitant le triangle; 2) l'augmentation de la luminance de la forme modale; et 3) une ségrégation de profondeur qui place la forme modale en avant-plan de la figure (Petry et Meyer, 1987; Kanizsa, 1976). Certains auteurs ont tenté de quantifier ces effets illusoires. Par exemple, selon Halpern (1981), le triangle illusoire paraît une fois et demi plus lumineux que le fond. Toutefois, il est inutile de chercher à quantifier un effet illusoire étant donné le nombre considérable de conditions qui affecte sa saillance.

Il est possible d'induire un triangle amodal dans la figure de Kanizsa simplement en encerclant chaque inducteur par un contour de cercle (figure 9). La figure ressemble alors à une surface plane avec trois trous au fond desquels on peut percevoir les coins d'un triangle situé sous la surface.

Les sujets parviennent aisément et rapidement à voir les trois effets illusoires des formes modales (Coren, 1972; Dumais et Bradley, 1976; Gregory, 1972). Bradley et Mates (1985) notent que 70% de leurs sujets ont vu le triangle illusoire avant même qu'une instruction ne leur soit donnée. Une fois perçue, la forme modale est stable et robuste (Parks, 1984).

Il est possible de créer une multitude de variantes au triangle de Kanizsa. Par exemple, la forme modale peut être une forme courbée (figure 10) ou d'allure transparente (figure 11) (Kanizsa, 1976).

Figure 10

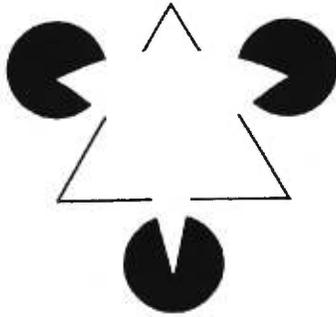
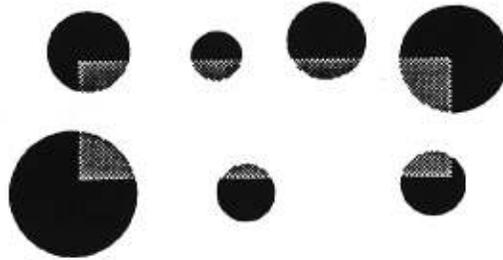


Figure 11



Le carré comme forme modale (figure 12) ou l'utilisation d'inducteurs faits de cercles concentriques (figure 13) sont des modifications qui augmentent légèrement la saillance des effets illusoires de la forme modale (Dresp, 1993; Frisby et Clayworthy, 1975; Halpern, 1981; Parks, 1984). Pour diminuer ces effets illusoires, il suffit d'utiliser des inducteurs complets comme des croix (figure 14). Pour les éliminer, les auteurs utilisent généralement des figures avec les inducteurs tournés de  $180^\circ$  (figure 15) ou avec des inducteurs délimités par un contour bien visible (figure 16). Ces deux dernières sont les contrôles des effets illusoires les plus utilisés.

Figure 12

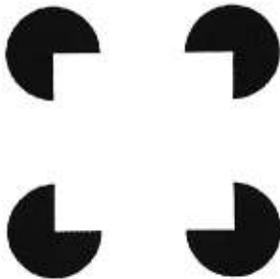


Figure 13

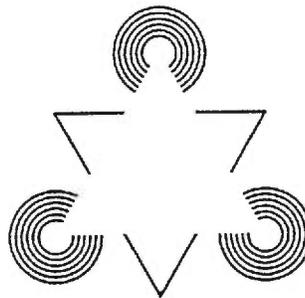


Figure 14

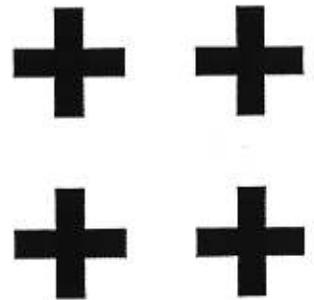


Figure 15

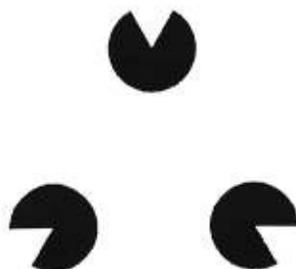
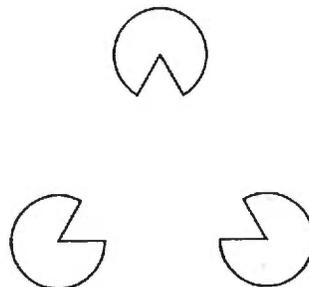


Figure 16



Les fins de ligne sont aussi connues pour être de puissants inducteurs (Frisby et Clayworthy, 1975). En plaçant côte à côte plusieurs lignes il est possible d'induire des bordures illusoires (figure 17). La figure d'Ehrenstein (1941, voir traduction de A. Hogg, 1987) (figure 18) est la plus connue. Cette figure est faite de plusieurs lignes perpendiculaires au contour d'un cercle illusoire situé au centre. Ce cercle paraît très lumineux mais la présence d'une bordure illusoire entourant le cercle et l'impression de profondeur sont plus faibles que dans la figure de Kanizsa (Coren et Theodor, 1975).

Figure 17

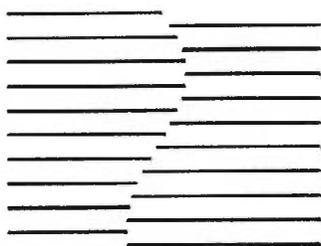
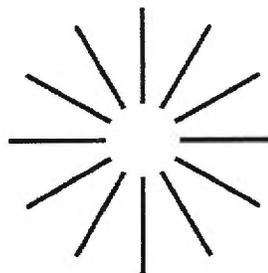


Figure 18



### LES PROCESSUS DE COMPLÉTION

Plusieurs processus sont impliqués dans le traitement des figures illusoires: 1) la convergence d'informations; 2) l'interaction d'informations par des connexions latérales; 3) la modulation contextuelle; 4) la ségrégation figure-fond; et 5) le contraste simultané (Spillmann & Werner, 1996).

Lorsqu'une forme est présentée, toutes ses parties sont d'abord traitées séparément par des cellules dites simples ayant de petits champs récepteurs. Les réponses de ces cellules convergent vers des cellules dites complexes ayant un champ récepteur plus grand. Les réponses de ces cellules convergent à leur tour vers d'autres cellules complexes dont le champ récepteur est encore plus grand. Ces convergences permettent l'assemblage graduel des parties élémentaires en une partie toujours plus

grande et complexe jusqu'à la constitution de la forme complète (Kovacs, 1996). Plus les cellules traitent des parties globales et moins leur réponse est affectée par de légères modifications de la forme comme l'absence de petites parties (Mason et Kandel, 1991). Ainsi, une cellule sensible à la présence d'un triangle dans son champ récepteur peut être activée par un triangle incomplet. La convergence pourrait donc être activement impliquée dans la complétion modale et amodale, i.e. dans l'impression d'unité d'une forme incomplète. Par contre, elle ne serait pas impliquée dans l'induction des effets illusoire de la complétion modale.

Grâce à des connexions latérales, les réponses de deux cellules éloignées peuvent converger. Ces connexions se font principalement entre des cellules spécifiques à des barres orientées dans la même direction et dont l'une se situe dans le prolongement de l'autre (Field et al., 1993; Polat et Sagi, 1993, 1994; Rockland et Lund, 1982, 1983). Ainsi, le système visuel interprétera la présence de deux lignes séparées mais alignées comme faisant partie d'une même ligne discontinue.

Les connexions latérales peuvent entraîner une modulation contextuelle, i.e. la modulation de la réponse d'une cellule par la réponse d'une autre cellule. La présentation d'un stimulus situé à l'extérieur du champ récepteur d'une cellule peut donc influencer indirectement la réponse de cette cellule (Kovacs, 1996). À la présentation du triangle de Kanizsa, les cellules avec les bordures illusoire dans leur champ récepteur seraient activées et/ou modulées par les cellules avec les inducteurs dans leur champ récepteur. Les connexions latérales sont plus nombreuses entre les cellules proches (Gilbert et Wiesel, 1979) et spécifiques à la même orientation (Spillmann et Werner, 1996) ou contraste (Levitt et Lund, 1997). Ceci expliquerait pourquoi l'alignement et la proximité des inducteurs sont des caractéristiques très influentes sur l'induction des bordures illusoire.

Quelques études ont démontré qu'à la présentation d'une configuration faite de barres, il y a des cellules qui ne répondent que s'il y a une différence d'orientation entre les barres situées dans leur champ récepteur et celles situées à l'extérieur (figure

19, le champ récepteur de la cellule correspond à la zone grise) (Knierim et van Essen, 1992; Lamme, 1995; Zipser et al., 1996). Ces cellules arrêtent de répondre lorsque les barres à l'extérieur du champ récepteur sont réorientées comme celles situées à l'intérieur (figure 20).

Figure 19

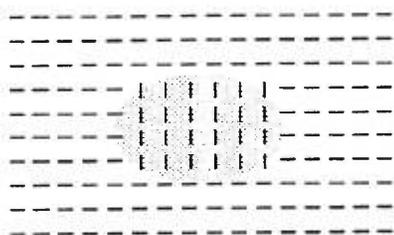
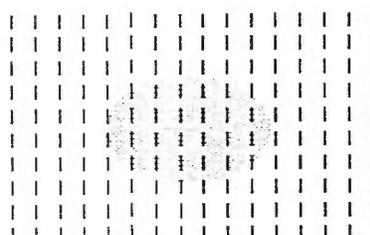


Figure 20



Cet effet de modulation contextuelle est une des bases du processus de la ségrégation de la forme par rapport au fond (ségrégation figure-fond). Il y a lieu de croire que cette ségrégation est un processus indispensable à l'induction de la forme modale. En effet, la ségrégation d'une forme complète par rapport au fond s'accompagne d'impressions semblables aux effets illusoires des formes modales, i.e. d'une augmentation de la luminance de la forme, d'une impression que cette forme est en avant-plan et bien entendu, de la distinction des bordures qui délimitent cette forme (Coren, 1969; Dresch et al., 1990; Dumais et Bradley, 1976). D'après Caputo (1996), la ségrégation figure-fond survient grâce à la complétion amodale du fond. Par exemple, dans la figure 19, le fond fait de barres horizontales serait complété derrière le rectangle de barres verticales entraînant ainsi l'impression que le carré est une figure placée en avant. Toutefois, l'induction des formes modales n'est pas uniquement le résultat d'une ségrégation figure-fond car leurs effets illusoires sont beaucoup plus forts et plus indépendants que ceux des formes complètes (Halpern, 1981; Parks et Marks, 1983).

Brigner et Gallagher (1974) proposent que les formes modales sont induites par le contraste simultané produit par les inducteurs. Le contraste simultané est une augmentation de la luminance apparente d'une forme qui se produit lorsqu'elle est entourée de formes plus foncées. Par exemple, un cercle gris entouré d'une bande

noire paraît plus clair que s'il n'y a pas de bande noire. Dans le triangle de Kanizsa, le contraste simultané entraîne une augmentation de la luminance apparente dans les coins du triangle (Brigner et Gallagher, 1974). Cette luminance se diffuserait à l'intérieur du triangle. Plusieurs résultats ont toutefois démontré que le contraste simultané n'était pas nécessaire à la complétion modale. En effet, des bordures illusoires peuvent être induites dans une figure avec peu de surface de contraste (figure 21) ou avec des inducteurs peu contrastés (figure 22). Par contre, rien ne démontre que le contraste simultané n'augmente pas la saillance des effets illusoires.

Figure 21

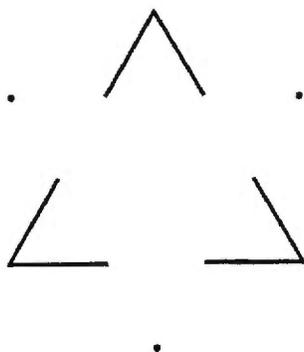
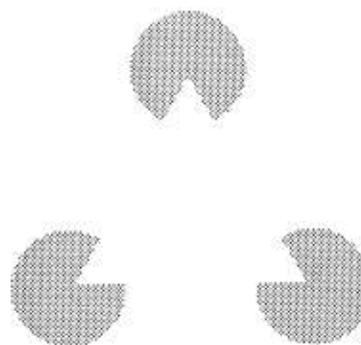


Figure 22



### La théorie "physiologique" et "cognitive"

Deux positions théoriques se sont longtemps confrontées suggérant comme processus de complétion soit des processus de traitement de caractéristiques physiques, soit des processus cognitifs (Purghé et Coren, 1992b). Les arguments de la théorie "physiologique" sont, par exemple, que les formes modales peuvent être détectées à un niveau de traitement pré-attentionnel (Davis et Driver, 1994), qu'un aggrandissement des inducteurs ou l'augmentation du contraste accentuent la saillance des bordures illusoires (Banton et Levi, 1992; Brigner et Gallagher, 1974; Kojo et al., 1993) ou encore, que les abeilles détectent les bordures illusoires (Lehrer et Srinivasan, 1994). Les tenants de la théorie "cognitive", quant à eux, rappellent que plusieurs cognitions modulent les effets illusoires. Nous présenterons plus en détails ces cognitions dans la section suivante. En fait, il apparaît possible que tant les

processus de traitement des caractéristiques physiques que les processus cognitifs interviennent dans la complétion mais à des niveaux de traitement différents.

### Localisation des processus de la complétion

Von der Heydt & Peterhans, en 1984 puis en 1989, par l'enregistrement de cellules de singe, ont découvert des cellules dans l'aire visuelle secondaire (V2) qui s'activaient lorsqu'une bordure illusoire se trouvait dans leur champ récepteur. Cette réponse était toutefois moins forte qu'avec une bordure réelle. Chez des sujets humains, la technique d'imagerie cérébrale fonctionnelle par résonance magnétique (fMRI) a permis de découvrir que la présentation de figures illusoires déclenchait de l'activité dans V2 (Hirsh et al., 1995; Palva et al., 1997). Cette activité se manifeste au même endroit que l'activité liée au traitement des formes complètes à l'exception de la région antérieure de V2 où les figures illusoires entraînent beaucoup plus d'activité. Grosf et al. (1993), sont les seuls à avoir détecté des cellules dans l'aire visuelle primaire (V1) du singe qui soient sensibles à la présence de bordures illusoires dans leur champ visuel. Ces résultats démontrent que le traitement des figures illusoires pourrait débuter dans V1 et V2.

### MODULATION DES EFFETS ILLUSOIRES

Dans la section précédente, nous avons présenté des processus impliqués dans la complétion. Dans cette section, nous présenterons des facteurs qui modulent la saillance des effets illusoires des formes modales. Les formes amodales seront écartées de cette section étant donné qu'elles n'induisent pas d'effets illusoires. Trois ensembles de facteurs seront discutés: 1) l'influence de la saillance d'un effet illusoire sur la saillance des autres effets illusoires; 2) l'influence des caractéristiques physiques des inducteurs; et 3) l'influence des cognitions. Pour une revue complète des facteurs et des théories de la complétion modale, voir Parks (1984), Pritchard et Warm (1983) et Spillmann et Dresch (1995).

### Influence de la saillance d'un effet illusoire sur la saillance des autres effets illusoires

Comment interagissent les effets illusoires de bordure, de luminance et de profondeur? Afin de répondre à cette question, les auteurs ont fait varier la saillance d'un effet illusoire (variable indépendante) et ont examiné comment cela influençait la saillance des autres effets illusoires (variables dépendantes). Par exemple, Bradley et Dumais (1984) ont manipulé la grandeur rétinienne et l'illumination de figures de Kanizsa, deux manipulations connues pour affecter la saillance des bordures illusoires (Dumais et Bradley, 1976). Plus la saillance des bordures illusoires était faible, plus l'effet de profondeur était faible aussi. Watanabe et Oyama (1988) ont plutôt fait varier l'espace entre les inducteurs, une manipulation de la saillance des bordures illusoires fréquemment utilisée. Leurs résultats ont démontré que l'intensité des effets de luminance et de profondeur variait selon la saillance des bordures illusoires. La Figure 23 est une figure ambiguë dans laquelle un seul triangle modal peut être vu à la fois. La luminance illusoire et la ségrégation de profondeur se manifestent sur le triangle une fois qu'il est délimité par les bordures illusoires (Bradley et Dumais, 1975). Beaucoup d'études semblables (Banton et Levi, 1992; Halpern, 1981; Parks et Marks, 1983, 1985; Ware, 1981) mènent à la conclusion que c'est la saillance des bordures illusoires qui détermine la saillance des effets de luminance et de profondeur.

Figure 23

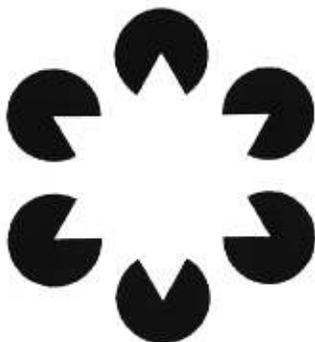


Figure 24

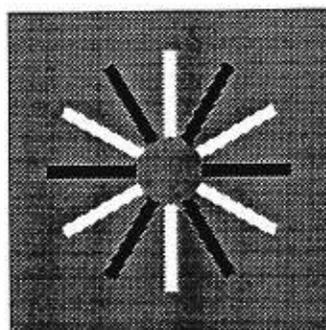
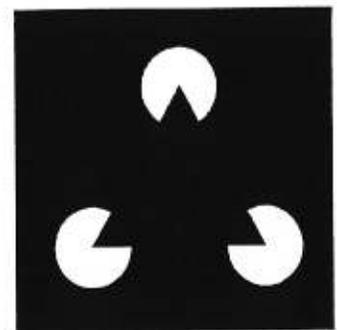


Figure 25



Certains auteurs soutiennent que c'est plutôt l'effet de luminance qui est responsable de l'apparition des bordures illusoires (Brigner et Gallagher, 1974; Day et

Jory, 1978, 1980; Frisby et Clayworthy, 1975; Kennedy, 1976a, 1978). Brigner et Gallagher (1974) et Jory et day (1979) ont observé que la saillance des bordures illusoires diminuait avec la baisse de la luminance illusoire. Cette baisse de luminance était produite soit par la réduction du contraste des inducteurs, soit par l'aggrandissement de l'acuité des angles du triangle modal ou soit par la diminution de la grandeur des inducteurs. Le résultat le plus pertinent est toutefois l'absence ou la baisse de la saillance des bordures illusoires lorsque les inducteurs sont d'une couleur différente mais équiluminante au fond (Brigner et Gallagher, 1974; Brussell et al. 1977; Gregory, 1977; Li et Guo, 1995). Malgré ces résultats, l'induction de bordures illusoires dans une figure avec peu d'inducteurs (figure 21, p.16) (Gregory, 1972) ou avec des inducteurs dont la polarité de contraste est alternée ou inversée (figures 24 et 25) (Dresp et al., 1990; Prazdny, 1983), démontrent que la luminance illusoire ne peut rendre compte à elle seule de l'induction des bordures illusoires. De plus, comment expliquer qu'une forme complète, qui présente donc plus de contraste, ne paraisse pas plus lumineuse qu'une forme modale? (Coren et Theodor, 1975; Parks, 1984).

Selon Coren (1972), l'induction de la forme modale dépend de la détection d'indices de profondeur tels que l'ombre ou l'interposition. L'interprétation de ces indices entraînerait la ségrégation de profondeur et faciliterait la perception de bordures illusoires (Kennedy, 1975; Rock et Anson, 1979). Plusieurs expériences ont testé cette hypothèse. La plus simple est une tâche où le sujet décidait si un point situé à l'intérieur d'une forme modale paraissait plus gros qu'un point situé à l'extérieur. Généralement, les sujets voyaient le point à l'intérieur comme étant plus petit ce qui appuie l'idée que la forme modale paraît en avant (Coren, 1972; Coren et Porac, 1983; Porac, 1978; Predebon, 1985). Dans d'autres expériences, des triangles de Kanizsa ont été présentés en stéréoscopie à la manière des figures de Julesz (1965). La disparité des images présentées à chaque œil donnait un indice de profondeur tridimensionnel qui s'ajoutait aux indices monoculaires d'interposition. Le résultat était une augmentation de la saillance du contour illusoire. Ce contour disparaissait lorsque l'indice de profondeur tridimensionnel était contradictoire aux

indices monoculaires, i.e. lorsque la disparité donnait l'impression que le triangle illusoire était derrière les inducteurs (Lawson et Gulick, 1967; Lawson et al. 1974; Gregory et Harris, 1974; Whitmore et al., 1976). La théorie de Coren (1972) bute sur un problème important: comment un indice d'interposition peut-il être détecté si la forme qui est à l'origine de cette interposition n'est pas encore complétée?

Dans l'ensemble, les résultats d'expériences sur les interactions entre les effets illusoires sont aussi diversifiés qu'ils sont insuffisants. Aucun résultat ne montre, hors de tout doute, que la variation d'un effet illusoire soit directement due à la variation d'un autre effet illusoire. La manipulation de l'effet servant de variable indépendante nécessite des modifications de la figure qui peuvent avoir un effet direct sur la variation des effets qui sont les variables indépendantes (Bradley et Dumais, 1984). De plus, il existe quelques figures qui n'induisent qu'un ou deux effets illusoires. Les figures illusoires sans bordure illusoire (Figure 26) (Kennedy, 1976a, 1978, 1981), sans luminance (Figure 27) (Kennedy, 1975; Parks, 1980; Rock et Anson, 1979; Ware, 1981) ou sans effet de profondeur (Figure 28) (Bonaiuto et al., 1991; Ware et Kennedy, 1977) démontrent bien qu'un effet illusoire peut être induit indépendamment de la présence des autres effets.

Figure 26

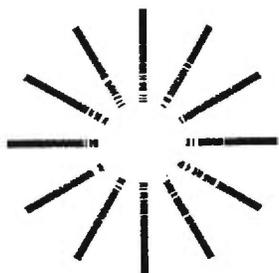


Figure 27

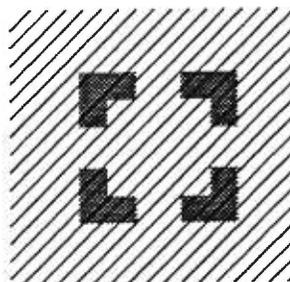


Figure 28



Les trois effets illusoires reposent sans doute sur des processus indépendants qui fonctionnent en parallèle mais qui sont interreliés (Dresp et al., 1990; Dresp et Bonnet, 1993). Ils sont indépendants parce qu'un effet illusoire peut être induit sans la présence des autres effets (Warm et al., 1987) et sont interreliés parce que la saillance

d'un effet illusoire peut être accentuée par la présence d'un autre effet. Par exemple, l'impression de profondeur n'entraîne pas la luminance illusoire mais va l'intensifier.

### Caractéristiques physiques des inducteurs

La saillance de la forme modale dépend beaucoup des caractéristiques physiques des inducteurs. Ces caractéristiques peuvent être manipulées de plusieurs façons. Par exemple, la forme modale est très saillante lorsque les bordures visibles sont rapprochées et parfaitement alignées (Banton et Levi, 1992; Brigner et Gallagher, 1974; Coren, 1972; Dresch et al., 1990; Fahle et Koch, 1995; He et Ooi, 1998; Kojo et al., 1993; Petry & Meyer, 1987; Shipley et Kellman, 1992b). Des bordures désalignées peuvent parfois induire une bordure illusoire mais cette dernière sera courbée (figure 10, p.12). Plusieurs autres caractéristiques physiques peuvent aussi accentuer la saillance de la forme modale comme de petites figures ou des inducteurs asymétriques, grands, nombreux, très contrastés ou faits de lignes concentriques (Banton et Levi, 1992; Bradley et Dumais, 1984; Brigner et Gallagher, 1974; Coren, 1972; Dresch et al., 1990; Dumais et Bradley, 1976; Halpern, 1981; Jory et Day, 1979; Kojo et al., 1993; Parks, 1990; Parks et Marks, 1983; Petry et al., 1983; Prazdny, 1986; Rock et Anson, 1979; Shipley et Kellman, 1992b; Warm et al., 1987; Watanabe et Oyama, 1988).

Aucune caractéristique physique n'est totalement indépendante. Leur manipulation entraîne presque toujours indirectement le changement d'une autre caractéristique. Par exemple, lorsque les inducteurs sont agrandis, ils sont en même temps rapprochés si la grandeur de la forme modale est conservée. Si le nombre d'inducteurs est augmenté, la grandeur totale de la surface inductrice le sera aussi. Il est alors difficile, voir impossible, d'isoler l'influence d'une seule caractéristique.

### Influence des cognitions sur le traitement des formes illusoires

L'hypothèse que les formes modales sont d'origine "cognitive" a été mise de l'avant par les articles de Gregory (1972) et Coren (1972). Selon Gregory (1972), l'identification de la forme illusoire serait la condition nécessaire à la complétion

modale alors que pour Coren (1972), ce serait plutôt la détection d'indices de profondeur. Ces hypothèses "cognitives" ont été renforcées par l'article de Rock et Anson (1979) qui suggéraient que les formes modales permettaient de simplifier l'interprétation de l'ensemble la figure illusoire. Depuis ces articles, plusieurs études ont mis en évidence le rôle des cognitions dans la complétion modale. L'expérience des sujets, l'attention, la familiarité et la mémorisation des formes modales, la connaissance des inducteurs, la préparation du sujet et la détection de conflits entre les indices de profondeur de la figure sont tous des traitements cognitifs qui influencent la complétion.

1) Expérience des sujets: Il ne faut que très peu de temps à un sujet pour s'habituer à voir aisément les formes modales. Plus il en voit, plus il acquiert de facilité à voir les effets illusoires (Coren, 1972).

2) Attention: l'effet de l'attention peut s'observer facilement avec une figure ambiguë comme la figure 23 (p.23) dans laquelle se trouve deux triangles modals superposés. Un seul des deux triangles peut être complété à la fois. Le triangle complété sera celui sur lequel l'attention aura été dirigée (Bradley et Dumais, 1975). Une autre figure ambiguë, la croix de Koffka (figure 29), permet aussi de constater un effet d'attention. Dans cette figure, il est possible de voir soit un cercle, soit un carré illusoire selon la direction de l'attention (Kennedy, 1976b). Pour Pritchard et Warm (1983), le traitement des formes modales nécessiterait plus d'attention que le traitement des formes complètes. Leur raisonnement est appuyé par les résultats de leur expérience qui démontrent que le traitement des formes illusoires est plus affecté que le traitement des formes complètes lorsque l'attention des sujets est réduite.

Figure 29

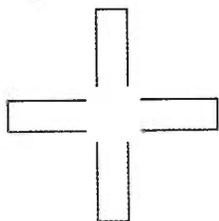


Figure 30

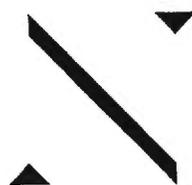
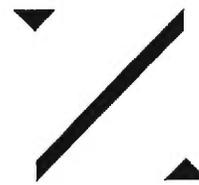


Figure 31



3) Mémorisation et familiarité des formes modales: Il est déjà connu que le traitement des formes complètes peut être affecté par des connaissances associées à ces formes (Kosslyn et al., 1995). Parks (1996) a démontré que c'est aussi le cas avec des formes modales. En présentant une figure illusoire ressemblant à un "N" (figure 30, page précédente), les sujets complétaient des bordures illusoires verticales. En revanche, en inversant la même figure sur l'axe vertical, les sujets avaient plutôt tendance à voir un "Z" (figure 31, page précédente) alors qu'ils complétaient les côtés horizontaux. L'emplacement des bordures illusoires dépend donc de la ressemblance de la figure à une forme ou un objet familier. Avec des formes nouvelles, Wallach et Slaughter (1988) ont démontré qu'il était plus facile pour un sujet de voir les formes modales si auparavant, il avait mémorisé ces formes alors qu'elles étaient complètes.

4) Effet de connaissance des inducteurs: Selon Kanizsa (1974), l'induction de la forme modale fait suite à une complétion amodale des inducteurs. Par exemple, les inducteurs du triangle de Kanizsa seraient des cercles partiellement cachés par le coin d'un triangle. Pour compléter l'inducteur, le sujet doit se référer à la connaissance de sa forme complète. Par contre, lorsque la forme est non familière, le sujet doit analyser certaines de ses caractéristiques configurales pour savoir s'il est complet ou non. Si l'inducteur est symétrique (figure 32), irrégulier (figure 33) ou s'il est délimité par un contour (figure 16, p.12), le sujet aura tendance à considérer cet inducteur comme étant complet (Coren, 1972; Day et Kasperczyk, 1983; Parks, 1997). La complétion amodale des inducteurs sera présentée plus en détails un peu plus loin dans le texte.

Figure 32

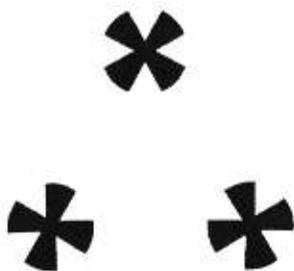
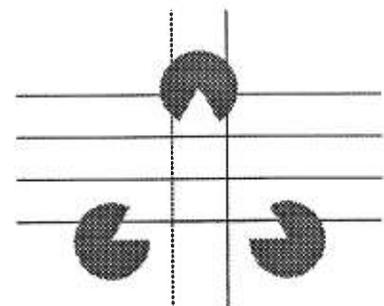


Figure 33



Figure 34



5) Préparation du sujet: Lors de la présentation d'une figure ambiguë, les sujets ont tendance à voir une forme modale correspondant à celle mentionnée dans les instructions. Par exemple, s'il est dit au sujet que la figure 29 (croix de Koffka, p.20) induit généralement un carré illusoire, les sujets auront tendance à voir un carré. S'il est dit que c'est plutôt un cercle, les sujets verront un cercle (Coren et al., 1986, 1987). Rock et Anson (1979) ont aussi démontré qu'une pré-exposition de figures illusoires facilitait la perception de formes modales présentées par la suite même si elles sont différentes de celle présentées à la pré-exposition.

6) Détection de conflit des indices d'interposition: Dans la figure 34 (page précédente), les effets illusoires sont affaiblis par la présence de lignes qui traversent la figure. Ces lignes sont des indices de superposition conflictuels vu qu'elles passent devant la forme modale et derrière les inducteurs qui eux, sont considérés comme étant derrière la forme modale (Parks et Rock, 1990). Les expériences dans lesquelles des figures de Kanizsa étaient présentées en stéréoscopie ont aussi démontré qu'un indice d'interposition tridimensionnel contradictoire aux indices monoculaires empêchait l'induction de la forme modale comme nous l'avons déjà mentionné (Lawson et Gulick, 1967; Lawson et al. 1974; Gregory et Harris, 1974; Whitmore et al., 1976).

## MICROGÉNÈSE DE LA COMPLÉTION

### Le traitement local et global des figures illusoires

Quelles sont les étapes de la complétion? La réponse à cette question dépend du point de vue théorique adopté par l'auteur. Par exemple, des auteurs comme Day et Jory (1980) ou Frisby et Clayworthy (1975) soutiennent que les premières étapes de la complétion sont le traitement de la luminance produite par le contraste des inducteurs. Kanizsa (1974) propose plutôt le traitement de la forme des inducteurs comme première étape. Malgré les divergences des auteurs, tous soutiennent qu'il y a d'abord traitement local des parties visibles (les inducteurs) suivi d'un traitement

global de la forme modale ou amodale. Lors du traitement local, les éléments comme les coins, les fins de lignes ou les contrastes des inducteurs sont traités. Ces éléments, une fois assemblés, constituent chaque inducteur en une forme qui se détache du fond. Lors du traitement suivant, certaines parties des inducteurs sont à leur tour assemblées en une forme globale modale ou amodale (Kojo, 1993). Dans les figures modales, il y a une inversion de la ségrégation figure-fond, i.e. les inducteurs deviennent le fond et la partie du fond que constitue la forme modale devient la forme en avant-plan (Parks, 1994).

Plusieurs auteurs ont cherché à mesurer le moment de chaque étape de la complétion. Pour y parvenir, ces auteurs ont développé des paradigmes nouveaux utilisant le masquage rétroactif lors de la présentation de triangles de Kanizsa (Gellatly, 1980, Reynolds, 1981; Ringach et Shapley, 1996). L'expérience la plus célèbre est celle de Reynolds (1981). Dans son expérience, deux figures étaient brièvement présentées l'une après l'autre. La première, la cible, était soit un triangle de Kanizsa standard, soit un triangle de Kanizsa légèrement courbé. La deuxième figure, le masque, consistait en trois disques pleins qui apparaissaient sur les inducteurs de la cible. Cette figure masquait la cible après un SOA (stimulus onset asynchrony, i.e. l'intervalle entre le début de l'apparition de la cible et celui du masque) variant entre 50 et 300 ms. Les sujets avaient à dire si le triangle de Kanizsa cible était standard ou courbé. Les sujets étaient incapables d'accomplir correctement cette tâche lorsque le SOA était de 50 ms. Ils rapportaient néanmoins avoir vaguement vu les inducteurs. Ce temps de 50 ms serait donc le temps minimum nécessaire au traitement des inducteurs. Avec des SOA de 100 ms, les sujets parvenaient à voir le triangle bien qu'ils faisaient plus d'erreurs que lorsque le SOA était de 150 ms. Ce 150 ms correspondrait donc au temps nécessaire à un assemblage complet de certaines parties des inducteurs en une forme modale globale. Ce paradigme a été repris par Ringach & Shapley (1996) avec des formes amodales. Leur résultats sont relativement similaires avec des temps de 117 ms pour le traitement des inducteurs et 167 ms pour l'assemblage de la forme amodale globale. Une expérience en enregistrement de cellules chez le singe avec des formes

complètes a confirmé qu'il fallait un SOA supérieur à 100 ms entre la cible et le masque complet de la cible pour que la forme soit traitée. MacKnik et Livingstone (1998) ont en effet observé qu'un SOA de 100 ms ou moins diminuait presque entièrement la partie finale de l'activité cellulaire du traitement de la forme pour 83% des cellules enregistrées dans V1.

Dans une tâche où le sujet doit appairer deux formes cibles présentées simultanément, il est déjà connu que le temps de réaction (TR) est plus court si une forme identique, l'amorce, a été présentée avant les deux cibles. Par exemple le TR pour décider si deux cercles sont pareils sera plus court si un cercle, plutôt qu'un carré, a été présenté avant (figure 35). Sekuler et Palmer (1992) ont refait cette expérience avec une forme amodale comme amorce. Lorsque le SOA entre l'amorce amodale et les cibles était de 50 ou 100 ms, le TR était plus court pour appairer deux cibles qui avaient la même forme que la partie visible de l'amorce (figure 36). Par contre, avec un SOA de 100 ou 200 ms, le TR était plus court pour appairer deux cibles semblables à l'amorce complétée (figure 37). Ce temps de 100 à 200 ms serait donc le temps nécessaire pour compléter une forme amodale.

Figure 35



Figure 36



Figure 37



La technique de masquage rétroactif et celle de l'amorce d'appariement de formes (de Sekuler et Palmer, 1992) présente néanmoins un problème important. En effet, l'interférence du masque (utilisé dans ces deux techniques) sur le traitement de la figure illusoire n'est possible que si le masque est lui-même traité (Ringach & Shapley, 1996). Le temps de traitement de ce masque n'est toutefois pas plus connu que celui de la figure illusoire. Il est par conséquent impossible de connaître avec certitude le moment où le masque interfère sur le traitement de la figure illusoire.

### L'intervention des processus cognitifs

La modulation de la saillance des effets illusoires par les processus cognitifs semble survenir après l'assemblage de la forme modale. D'après Meyer et Ming (1988), les formes modales laisseraient une trace mnémonique qui persisterait plus longtemps que celle laissée par les formes complètes justement à cause de l'intervention de plusieurs processus cognitifs après l'assemblage. Comme nous en avons fait la démonstration, des lignes qui passent devant la forme modale et derrière les inducteurs (figure 34, p.23) constituent des indices de profondeur qui sont conflictuels entre eux et qui inhiberaient les effets illusoires après qu'ils aient été induits. En effet, ces lignes empêcheraient la présence des effets illusoires seulement à partir de 300 ms (Reynolds, 1981) ou 480 ms (Parks, 1994, 1995) après l'apparition de la figure, donc, après que la forme modale ait été complétée. Ceci va de soit si on considère que la ségrégation figure-fond de la forme modale globale doit avoir eu lieu pour que la contradiction des indices de profondeur soit perçue. Ces résultats montrent donc que certains traitements cognitifs n'interviennent pas sur les processus de complétion modale mais plutôt sur la manifestation des effets illusoires.

### Complétion amodale des inducteurs

Dans la majorité des figures illusoires, les inducteurs sont complétés amodalement (Kanizsa, 1974). Mais comme nous l'avons déjà fait remarquer, comment l'inducteur peut-il être considéré comme étant incomplet si l'obstacle qui le cache partiellement n'est pas encore constitué. À cette question, quelques auteurs soutiennent qu'une analyse de la forme visible de l'inducteur peut suffire pour la

définir comme étant incomplète. Comment s'exécute la complétion amodale des inducteurs sans la présence d'un obstacle? Il existe deux approches à cette problématique: l'approche locale et l'approche globale. Selon, la première, la complétion amodale se produit simplement par la continuation des bordures visibles de l'inducteur. Dans le cas de la figure de Kanizsa, le contour partiel des inducteurs serait complété en un cercle. Ce traitement serait donc très précoce et pourrait alors survenir avant l'induction de la forme modale. (Buffart et al., 1981; Kellman et Shipley, 1991). L'approche globale postule plutôt que les formes amodales sont complétées après l'analyse de l'ensemble de leur structure, particulièrement leur symétrie. Cette intervention ferait donc suite à un traitement plus tardif que celui postulé par le traitement local. Les figures suivantes illustrent bien la différence entre l'approche locale et globale.

Figure 38



Figure 39



Figure 40



Dans la figure 38 se trouve une forme en apparence incomplète (cachée par un objet illusoire). L'approche locale prédit que la complétion amodale de cette forme se fera par la continuité du contour visible (figure 39). Selon, l'approche globale, la structure de la forme est d'abord analysée. La partie complétée contiendra la seconde protubérance afin de conserver la symétrie de la forme (figure 40).

Afin de tester l'approche locale et globale, Sekuler et al. (1994) et Sekuler (1994) ont utilisé une tâche d'appariement de formes amorcées que nous avons présenté un peu plus haut (voir figure 35 à 38) (Sekuler et Palmer, 1992). Selon le

postulat de Sekuler et al. (1994), une amorce comme la figure 38 devrait faciliter l'appariement d'une forme comme la figure 39 si le traitement est local et de la figure 40, si le traitement est global.

Leurs résultats ont démontré que l'implication du traitement local ou global dépend de l'orientation de l'axe de symétrie de la forme. Lorsque l'axe de symétrie était vertical (figure 41), l'appariement de formes à traitement global était facilité (figure 40). Quand l'axe était horizontal (figure 42), c'est l'appariement des formes à traitement local (figure 39) qui était facilité. Cette différence de traitement selon l'axe de symétrie est due au fait que le système visuel a beaucoup plus tendance à traiter la symétrie selon un axe vertical (Sekuler, 1994). Par conséquent, les formes amodales (comme les inducteurs) doivent d'abord être complétés localement, i.e. que leur contour doit simplement se fermer. Si la structure de l'inducteur est propice à un traitement global (s'il y a un axe de symétrie vertical par exemple), alors la complétion sera corrigée afin de conserver une structure harmonieuse de la forme. Le moment d'intervention de ces processus dans la complétion des formes modales n'est pas connu.

Figure 41

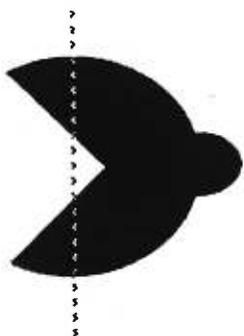
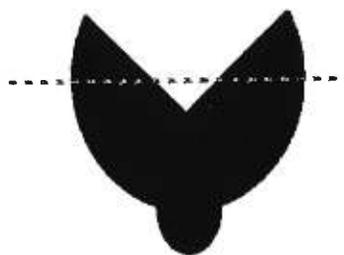


Figure 42



Au début du contexte théorique, nous avons souligné que la présence d'un obstacle était nécessaire pour qu'il y ait complétion modale ou amodale (c.f. p.6 à p.9). Les résultats sur le traitement local et global des formes amodales semblent toutefois montrer le contraire. En fait, un obstacle peut être détecté sans qu'il soit vu

dans son ensemble. Un seul inducteur peut, à lui seul, induire une partie d'obstacle. Ce postulat s'appuie sur les résultats d'une expérience de Dresch et Bonnet (1993). Dans une de leur expérience, leurs sujets avaient à détecter un point présenté brièvement près d'un carré de Kanizsa. Plus ce point était près d'une bordure illusoire, plus il était détecté facilement comme c'est le cas avec des bordures réelles (Dresch et al., 1990). Cet effet facilitateur a été répliqué avec un seul inducteur, i.e. que le point était détecté tout aussi facilement lorsque présenté près de la continuation d'une bordure visible d'un seul inducteur.

### POTENTIELS ÉVOQUÉS DE LA COMPLÉTION

En plaçant des électrodes sur la tête on peut enregistrer l'électroencéphalogramme ou EEG pendant le traitement de stimuli visuels. On peut extraire de cet EEG les périodes commençant 100 ou 200 ms avant la survenue du stimulus et se terminant une seconde ou une demi-seconde après. En calculant la période moyenne de ces périodes on obtient un reflet de l'activité cérébrale déclenchée par la présentation du stimulus: le potentiel évoqué par ce stimulus. Ce potentiel évoqué est fait d'une succession de déflexions positives et négatives nommées P1, N1, P2, N2, P3 et N4. La lettre indique la polarité électrique de la composante et le chiffre, la latence (en ms) de l'amplitude maximale. Par exemple, la P1 est une composante positive qui atteint son amplitude maximale autour de 100 ms post-onset. Les potentiels évoqués de deux catégories de stimuli peuvent être comparés. Le voltage moyen obtenu durant la courte période précédant l'onset des stimuli est utilisé pour définir l'amplitude 0  $\mu\text{v}$ .

A notre connaissance, il existe trois études dans lesquelles les potentiels évoqués de figures illusoires ont été comparés à ceux de figures contrôles: Sugawara et Morotomi (1991), Herrmann et al. (1999) et Tallon et al. (1995).

Dans l'expérience de Sugawara et Morotomi (1991), les figures expérimentales étaient des carrés de Kanizsa (figure 8, p.10) et des figures d'Ehrenstein (figure 18, p.13). Les figures contrôles étaient des figures aux inducteurs tournés (figure 15, p.12). Les sujets n'avaient aucune tâche à faire sinon de prêter attention aux figures présentées. La comparaison des potentiels évoqués a révélé une N180 (composante négative à 180 ms post-onset) beaucoup plus grande pour les figures illusoires que pour les figures contrôles.

Herrmann et al. (1999) ont présenté à leurs sujets un triangle et un carré de Kanizsa. Les figures contrôles étaient les mêmes figures mais avec les inducteurs tournés. Les sujets avaient à compter le nombre de carrés de Kanizsa. Les résultats montrent que plus il y a d'éléments dans la figure, plus l'amplitude de la N20 est élevée. Ainsi, cette composante est plus grande pour les figures (illusoires ou contrôles) ayant quatre inducteurs que pour les figures qui en n'ont que trois. Cette N20 refléterait le traitement des caractéristiques physiques des inducteurs. Une différence d'amplitude entre les figures illusoires et les contrôles se manifeste à la N150. Cette composante correspondrait à l'assemblage des bordures visibles des inducteurs en une forme modale globale.

La troisième expérience, celle de Tallon et al. (1995), est surtout axée sur l'analyse de la synchronisation des fréquences gamma. Leurs résultats en potentiels évoqués n'ont pas été analysés statistiquement. Dans cette expérience, des triangles de Kanizsa, des contours de triangles et des contrôles avec les inducteurs tournés ont été présentés aux sujets. Leur tâche était de compter le nombre de triangles modaux. La comparaison des potentiels évoqués démontre une N180 de plus grande amplitude pour les figures illusoires que pour les contrôles et les contours de triangle. Si la N180 correspond à l'intégration des éléments locaux, alors la N180 des contours de triangle aurait dû être au moins aussi grande que celle des formes modales ce qui ne fut pas le cas.

Ces trois expériences ont toutes démontré que la composante négative qui survient entre 100 et 200 ms est plus grande pour les figures avec une forme modale que pour les figures contrôles. La latence de cette composante ressemble au SOA de 150 ms nécessaire entre la présentation d'une forme modale et d'un masque qu'ont observé Sekuler et Palmer (1992), Reynolds (1981) et Ringach et Shapley (1996). Il est donc possible que cette composante soit liée à l'assemblage de certaines parties des inducteurs en une forme modale globale.

Quand une figure de Kanizsa est présentée sur une surface texturée, les sujets ont l'impression que la texture à l'intérieur de la forme modale est différente de celle de l'extérieur (Coren et Brussell, 1973; Parks, 1985; Spillman & Dresch, 1995). Cette ségrégation de texture illusoire aide à délimiter la forme modale et à la distinguer de son fond à la manière d'une ségrégation figure-fond. Il existe plusieurs études en potentiels évoqués sur la ségrégation de textures (Bach & Meigen, 1997, 1992; Caputo, 1998; Caputo et al., 1999; Lamme et al., 1992; Romani et al., 1999). Dans ces études, deux surfaces différentes sont présentées. La première est faite d'une texture uniforme (figure 43). Dans la deuxième se trouve une forme faite d'une texture différente de celle du reste de la surface (figure 44). La comparaison des potentiels évoqués de ces deux surfaces révèle une différence d'amplitude entre 100 et 200 ms post-onset. Selon les auteurs de ces expériences, la composante qui survient à ces latences refléterait le détachement de la forme suite à la ségrégation des textures.

Figure 43



Figure 44



Figure 45

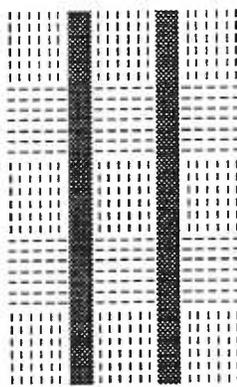
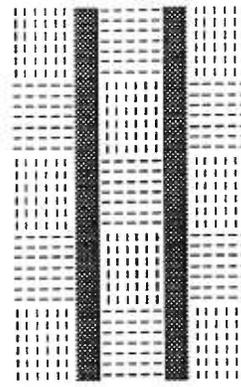


Figure 46



Caputo et al. (1999) proposent que la ségrégation de textures est sous-tendue par une complétion amodale comme s'il y avait superposition des surfaces texturées. Dans la figure 44, le carré fait de barres horizontales cacherait donc une partie de la surface fait de barres horizontales qui serait alors complétée. Pour vérifier cette hypothèse, ces auteurs ont présenté à leurs sujets des stimuli faits de bandes verticales composées de barres verticales et séparées par des bandes grises. Des bandes horizontales composées de barres horizontales passent devant les bandes verticales mais derrière les bandes grises (figure 45). En comparant les potentiels évoqués par ces stimuli avec des stimuli semblables mais dont les bandes horizontales sont désalignées entre chaque bande grise (figure 46), Caputo et al. observent une différence d'amplitude entre 142 et 188 ms (N175). Cette différence serait le résultat d'une complétion amodale des bandes horizontales de la figure 45 et pas dans la figure 46. La latence de la N175 rappelle fortement les 167 ms nécessaires à l'assemblage des inducteurs en une forme amodale qu'avaient observé Ringach et Shapley (1996) avec la technique de masquage rétroactif.

En résumé, les composantes des potentiels évoqués activées lors de la ségrégation d'une forme s'apparentent bien à ceux observés lors de la présentation de figures illusoires. La déflexion négative qui survient entre 100 et 200ms pourrait donc être impliquée tant dans l'assemblage des parties élémentaires que dans la ségrégation figure-fond, deux processus indissociables qui sont sans doute fortement impliqués dans la perception des figures illusoires.

## **LES OBJECTIFS**

Le but de ce projet est l'exploration des correlats électrophysiologiques de trois processus impliqués dans la perception du triangle de Kanizsa: 1) l'assemblage de la forme globale (c.f. p.8 ), 2) la complétion, i.e. l'impression que la forme est complète (c.f. p.9 ) et 3) l'induction des effets illusoires.

Ces trois processus dépendent de plusieurs caractéristiques qu'il est possible de manipuler en modifiant légèrement certaines caractéristiques physiques du triangle de Kanizsa. Ainsi, il est possible de produire des figures dans lesquelles l'assemblage, la complétion et les effets illusoires peuvent être présents ou absents. En comparant les potentiels évoqués par des figures qui activent un, deux ou les trois processus avec les potentiels évoqués par des figures qui n'activent pas ce ou ces processus, il est possible d'isoler son ou ses corrélats électrophysiologique(s).

Le premier objectif est de vérifier si les corrélats électrophysiologiques des formes modales sont les mêmes que ceux des formes complètes. Les potentiels évoqués du triangle modal (figure 47-A) seront donc comparés aux potentiels évoqués d'un contour de triangle (objectif 1a) (figure 47-B) et d'une surface de triangle grise (objectif 1b) (figure 47-C).

Figure 47-A

Triangle modal

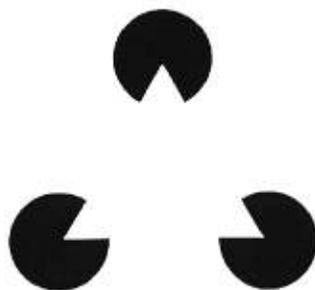


Figure 47-B

Contour de triangle

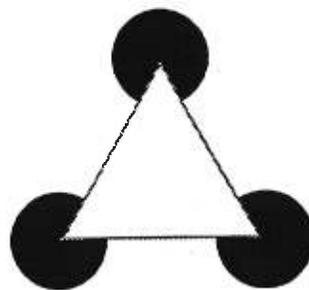
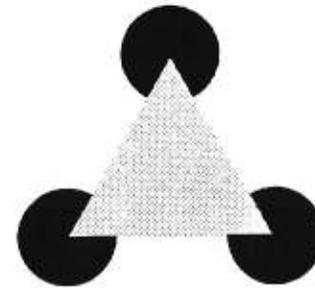


Figure 47-C

Triangle gris



Le deuxième objectif est l'exploration des corrélats électrophysiologiques des processus d'assemblage. Plusieurs auteurs (Caputo et al., 1996; Herrmann et al., 1999; Sugawara et Moritomi, 1991) soutiennent que cette étape correspond à la déflexion négative survenant entre 150 et 200 ms. Cette hypothèse sera testée en comparant séparément les potentiels évoqués d'une figure qui ne produit aucun assemblage (la figure 47-D appelée contrôle sans triangle) avec les potentiels évoqués de deux figures qui produisent l'assemblage d'une forme globale, soit le triangle modal (la figure 47-A pour l'objectif 2a) et une figure avec un triangle assemblé mais incomplet

(la figure 47-E pour l'objectif 2b). La figure sans assemblage sera appelée 'contrôle sans triangle' alors que la figure avec un triangle assemblé mais incomplet sera appelée 'contrôle avec triangle'.

Figure 47-D

Contrôle sans triangle



Figure 47-E

Contrôle avec triangle



Figure 47-F

Triangle amodal



Le troisième objectif est l'exploration des corrélats électrophysiologiques des processus de complétion. Les comparaisons de potentiels évoqués se feront entre le triangle modal (figure 47-A), dans lequel le triangle est complété, et le contrôle avec triangle dans laquelle le triangle est assemblé mais demeure incomplet (figure 47-E).

Le quatrième et dernier objectif est l'exploration des corrélats électrophysiologiques des processus d'induction des effets illusoirs. Pour ce faire, les potentiels évoqués par le triangle modal (figure 47-A) seront comparés à ceux d'un triangle amodal (figure 47-F) qui induit l'assemblage et la complétion mais pas les effets illusoirs.

## **MÉTHODOLOGIE**

## MÉTHODOLOGIE

### SUJETS

Vingt-neuf sujets, 15 hommes et 14 femmes âgé(e)s entre 19 et 29 ans, ont participé à l'expérience. Tous droitiers et ayant une vision parfaite naturelle ou corrigée, ils ont rapporté ne pas avoir d'histoire psychiatrique ou de parenté aux prises avec des troubles psychiatriques. Ils ont également rapporté ne pas avoir ou avoir eu de troubles neurologiques tels qu'une commotion cérébrale, une perte de conscience, une migraine persistante ou de l'épilepsie. Un dédommagement de 12\$ leur a été donné pour leur participation.

### STIMULI

Les figures de l'expérience sont six triangles de Kanizsa modifiés. Elles consistent en un triangle modal, un contour de triangle, une surface de triangle gris, un contrôle avec triangle, un contrôle sans triangle et un triangle amodal. Ces figures sont présentées avec la description des objectifs aux pages 34 et 35.

L'expérience comportait 60 exemplaires de chacune de ces six figures. Les 360 stimuli (6 x 60) étaient mélangés au hasard et présentés un par un dans un ordre aléatoire. Le sujet était placé à un mètre de l'écran. Les figures, incluant les inducteurs, avaient des côtés de 5,5 cm de longueur, soit environ 4 degrés d'angle visuel. Chaque figure restait à l'écran pendant 200 ms et l'intervalle entre deux figures consécutives variait entre 1,8 et 2,2 secondes. Pour éliminer au maximum les clignements des yeux et les mouvements oculaires durant les intervalles stimulus-réponse, l'indication "clignez des yeux" apparaissait toujours après la présentation de quatre figures. La présentation totale durait un peu moins de vingt minutes. Une

pause avait lieu au milieu de l'expérience étant donné le rythme soutenu des présentations.

## PROCÉDURE

L'enregistrement des potentiels évoqués était précédé d'une session d'évaluation des effets illusoirs. Cette session avait pour but d'amener les sujets à prendre conscience de la présence ou de l'absence d'effets illusoirs et de vérifier que les figures induisaient bien les effets illusoirs prévus. Pour ce faire, les sujets évaluaient de la saillance des effets illusoirs du triangle modal (figure A), du triangle amodal (figure B), du contour de triangle complet (figure C) et du contrôle avec triangle (figure E). Ces figures étaient présentées sur un feuille. Pour chacune de ces figures, le sujet indiquait 1) s'il voyait des bordures (réelles ou illusoirs), 2) s'il avait l'impression que le triangle était plus lumineux que le fond et, 3) si le triangle lui paraissait en avant-plan.

Après cette évaluation, le sujet était amené dans une petite pièce insonorisée où il était confortablement assis face à un écran d'ordinateur. Les instructions écrites lui étaient données après la pose des électrodes. Sa tâche était de décider le plus rapidement et le plus exactement possible si, pour chaque figure présentée sur l'écran, il voyait ou non une surface de triangle, qu'elle soit réelle ou illusoire. Le sujet donnait sa réponse sur un clavier d'ordinateur en utilisant son index droit pour les deux réponses. Le sujet devait aussi se retenir de cligner des yeux et de regarder ailleurs qu'au centre de l'écran sauf au moment où l'indication de cligner des yeux apparaissait. À ce moment, le sujet avait trois secondes pour cligner des yeux. Après une session de pratique permettant au sujet de se familiariser aux figures, à la tâche et au rythme de la présentation, l'enregistrement débutait.

## ENREGISTREMENT DE L'ÉLECTROENCÉPHALOGRAMME

Le casque ElectroCap International à 32 électrodes distribuées selon le système international 10-20 était posé sur la tête du sujet. Vingt-huit des électrodes de ce casque étaient utilisées pour l'enregistrement de l'activité cérébrale (EEG): Fp2, Fp1, F8, F7, F4, Fz, F3, Ft8, Ft7, Fc4, Fcz, Fc3, T4, T3, C4, Cz, C3, Tp8, Tp7, Cp4, Cp3, T6, T5, P4, Pz, P3, O2 et O1. Toutes ces électrodes étaient référencées à une électrode placée sur le lobe de l'oreille droite. Une électrode supplémentaire était placée sur le côté de l'œil dominant et une autre en dessous afin d'enregistrer les mouvements oculaires verticaux et horizontaux. L'impédance des électrodes a été maintenue en dessous de  $5K\Omega$ .

La bande passante choisie était de 0.01 Hz à 30 Hz. Le signal analogique capté était digitalisé à peu près toutes les deux ms (512 Hz), puis stocké sur le disque dur de l'ordinateur. Des codes marquaient l'instant précis de survenue de chacun des stimuli ainsi que de leur identification qui spécifiait de quelle figure il s'agissait.

## ANALYSE DES POTENTIELS ÉVOQUÉS

### Les moyennages

Les 60 périodes d'EEG débutant 200 ms avant la survenue de chaque stimulus et se terminant 500 ms après, ont été extraites excepté celles artéfactées par des clignements d'yeux, des mouvements oculaires, des tensions musculaires. Les moyennes de ces périodes, i.e. les potentiels évoqués correspondant à chacune des figures, ont été calculées en se servant de la période  $-200$  à  $0$  ms comme ligne de base. Le voltage moyen des potentiels évoqués obtenus a été mesuré pour chaque électrode dans les fenêtres centrées sur les pics des déflexions obtenues.

### Les analyses statistiques

Les 28 électrodes "cérébrales" ont été séparées en trois montages : les médianes (Fz, Cz, Pz, et Fcz), les intermédiaires (Fp2, Fp1, F4, F3, Fc4, Fc3, C4, C3, Cp4, Cp3, P4, P3, O2 et O1) et les latérales (F8, F7, Ft8, Ft7, T4, T3, Fp8, Fp7, T6 et T5). Chaque montage d'électrodes a été analysé séparément par une analyse de variance (ANOVAs) à mesures répétées. Cette analyse de variance comprenait deux facteurs pour le groupe d'électrodes médianes : les figures (2 niveaux) et les électrodes (4 niveaux). Les deux autres montages comprenaient en plus le facteur hémisphère (2 niveaux : droit et gauche). Pour le montage intermédiaire il y avait 7 niveaux pour le facteur électrodes, et 5 pour le montage latéral. Des analyses post-hoc étaient effectuées sur chaque électrode d'un montage lorsqu'il y avait une interaction double (électrodes x figures) ou triple (électrodes x hémisphères x figures). Les degrés de liberté pour l'analyse des interactions ont été ajustés par l'épsilon ( $\epsilon$ ) calculé selon la procédure de Greenhouse-Geisser.

## RÉSULTATS

## RÉSULTATS

### ÉVALUATIONS DES EFFETS ILLUSOIRES

Les résultats de la session d'évaluation figurent dans le tableau ci-dessous. Il indique que 93% des sujets ont trouvé le triangle modal de la figure de Kanizsa plus lumineux que le fond, que 68% d'entre eux ont perçus ses bordures illusoires, et que 86% l'ont perçu en avant du plan des inducteurs (ségrégation figure-fond). Il indique aussi ces pourcentages pour les trois autres figures que les sujets avaient à évaluer.

Tableau I: Évaluation des effets illusoires

Réponse	Triangle modal			Triangle amodal		
	Lumineux	Bordure	Avant-plan	Lumineux	Bordure	Avant-plan
Oui	93%	68%	86%	21%	32%	14%

Réponse	Contour de triangle			Contrôle avec triangle		
	Lumineux	Bordure	Avant-plan	Lumineux	Bordure	Avant-plan
Oui	57%	100%	89%	14%	18%	7%

### RÉPONSES ET TEMPS DE RÉACTION

Le tableau suivant montre les temps mis par le sujet pour décider, pour chaque figure, si oui ou non il ou elle 'voyait une surface de triangle'. Le temps de réaction moyen d'un sujet pour une figure n'était retenu que si cette réponse avait été donnée 15 fois ou plus par le sujet. La colonne 'nombre de sujets' indique le nombre de sujets qui ont atteint ou dépassé cette limite pour la figure considérée. Par exemple, 28 sujets ont répondu au moins 15 fois qu'il y avait un triangle dans le triangle modal.

Tableau II: Temps de réaction

RÉPONSE :	OUI	TR	NON	TR
	Nombre de sujets		Nombre de sujets	
Triangle modal	28	574,29	1	
Triangle amodal	16	555,65(*)	20(**)	741,34
Contour de triangle	29	554,22	0	
Surfaces de triangle	28	566,66	1	
Contrôle avec triangle	26	613,41	4	
Contrôle sans triangle	0		29	662,54

(\*) Cette moyenne de TR n'est faite qu'à partir de 16 sujets. Ce TR de 555,65 ms ne doit donc pas être directement comparé avec les autres TRs présentés dans le tableau.

(\*\*) Ces sujets ne sont pas les mêmes que ceux qui ont répondu qu'il y avait un triangle dans la forme amodale.

Pour faire les analyses statistiques, les groupes de sujets ont été ajustés de manière à ce que la comparaison de deux TRs inclue les mêmes sujets. Par exemple, pour faire l'ANOVA des TRs des figures modales et amodales, il a fallu retirer les 12 sujets qui disaient voir un triangle dans la figure modale mais pas dans l'amodale. Les résultats des ANOVAs révèlent que le temps pris pour répondre qu'il y a un triangle dans la figure modale (réponse OUI) n'est pas significativement différent de celui pris pour décider qu'il y a un triangle dans la triangle gris ( $F(1.27) = 3.815$ ,

$p < 0.061$ ), dans le contrôle avec triangle ( $F(1,25) = 1.075$ ,  $p < 0.310$ ) ou dans le triangle amodal ( $F(1,15) = 2.331$ ,  $p < 0.147$ ). Par contre, la réponse 'OUI' est donnée plus rapidement à la figure de contour de triangle qu'au triangle modal ( $F(1,27) = 7.551$ ,  $p < 0.011$ ). De plus, le TR est significativement plus long pour décider qu'il n'y a pas de triangle dans le contrôle sans triangle que pour décider qu'il y a un triangle dans la figure modale ( $F(1,18) = 31.034$ ,  $p < 0.000$ ).

Les nombres moyens de réponses 'OUI' (= voit une surface de triangle) et NON (ne voit pas de surface de triangle) pour chaque figure ne sont pas présentés à cause du manque d'homogénéité des réponses entre les sujets. Par exemple, un sujet a répondu 'NON' à presque toutes les figures, sauf les contours de triangle et quelques surfaces de triangle. D'autres sujets ont plutôt répondu 'OUI' à toutes les figures sauf aux contrôles sans triangle. En fait, les seules figures pour lesquelles les sujets sont unanimes sont les contrôles sans triangle et les contours de triangle. Mais il faut noter qu'en général, pour chacun des sujets, la réponse qu'il ou elle donnait pour une figure était constante tout au long de l'expérience. La seule figure pour laquelle certains sujets répondaient parfois 'OUI' et d'autre fois 'NON' est la figure amodale.

## POTENTIELS ÉVOQUÉS

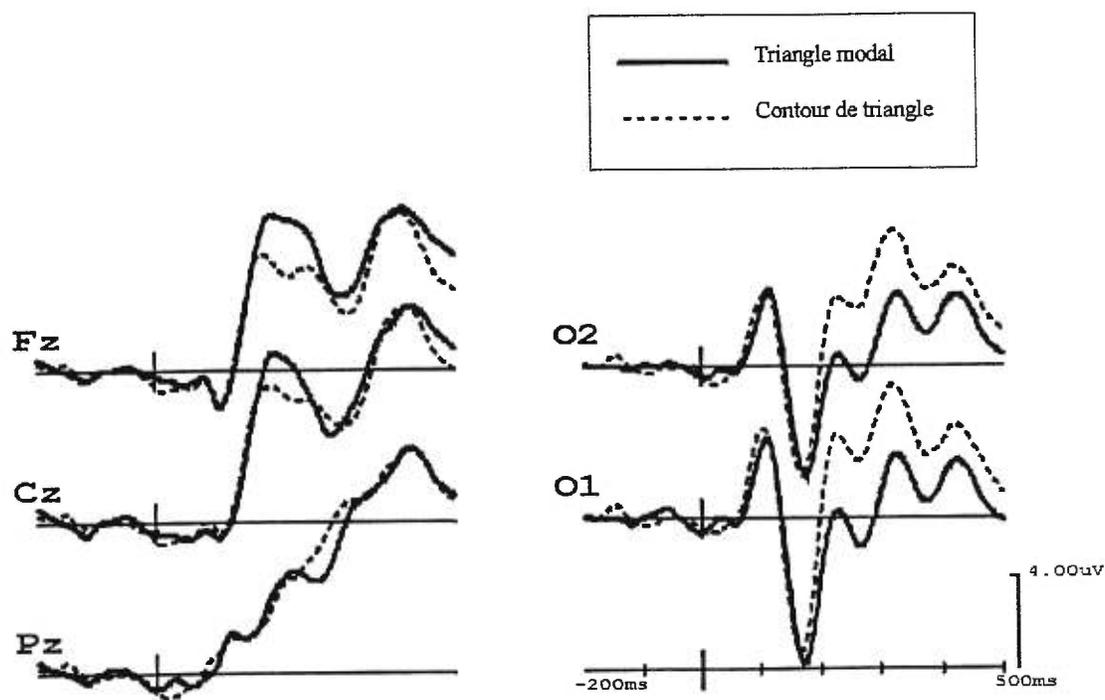
### Aspect global des potentiels évoqués:

La figure ci-dessous montre le décours général de l'activité électrique évoquée par les figures. Ce décours inclut une première déflexion positive culminant en regard du cortex occipital et temporal aux environs de 100 ms après le début de l'apparition des figures. Cette P80 est suivie par une négativité culminant vers 170 ms sur les sites occipitaux et temporaux, et par une P190 aux niveaux des électrodes centro-frontales. Après cette N170 et cette P190, on observe une P220 sur les électrodes occipitales. Elle est immédiatement suivie par une N260 elle même remplacée par une P320 toujours au niveau des électrodes occipitales.

Les mesures d'amplitude moyenne ont été faites dans des fenêtres centrées sur les déflexions obtenues (i.e., celles décrites ci-dessus): la fenêtre 60 à 100 ms (pour la P80), 150 à 190 ms (pour la N170), 190-250 ms (P220), 220-300 ms (N260) et 270-370 ms (P320). Désormais, ces fenêtres seront appelées par le nom de la déflexion qu'elles contiennent. Les tracés des potentiels évoqués des électrodes Fz, Cz, et Pz ainsi que O2 et O1 accompagneront la description des résultats. Pour faciliter la lecture, lorsqu'il y aura des interactions, seuls les résultats de quelques analyses post-hoc seront présentés.

Objectif 1A: Potentiels évoqués par le triangle modal (figure 47-A) et par contour de triangle (figure 47-C)

Figure 48



La P80 évoquée par le contour de triangle est légèrement plus grande que celle correspondant au triangle modal. Toutefois, cette différence n'est pas significative statistiquement tout comme celle visible au niveau de la N170.

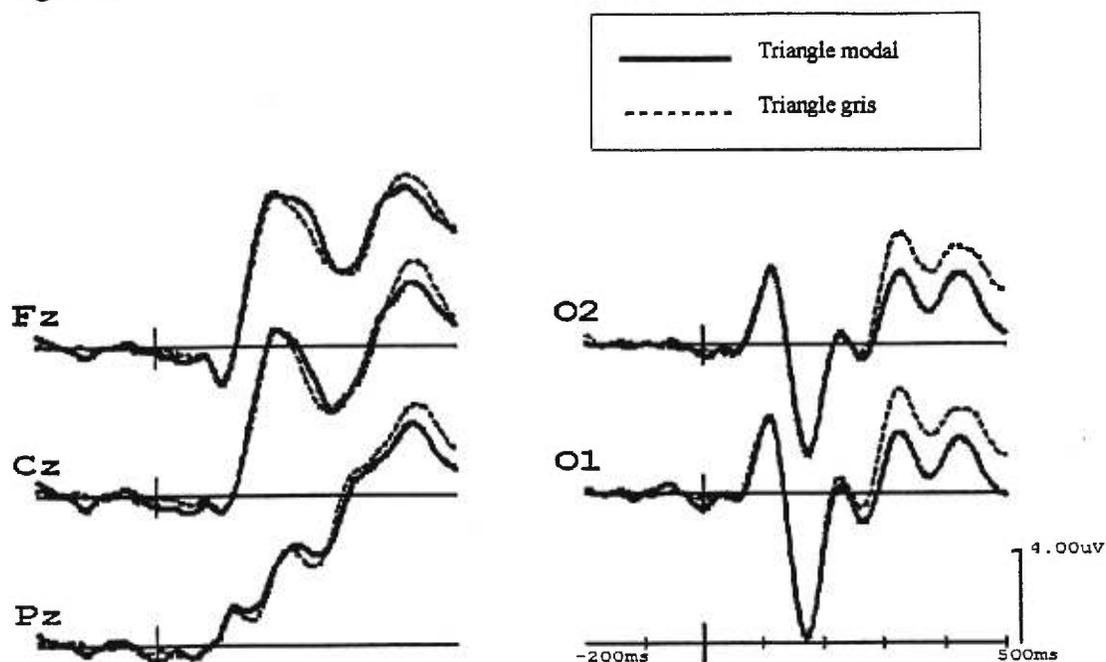
Par contre, la P220 et la N260 du contour de triangle sont plus positives que celles du triangle modal. À la P220, toutes les électrodes médianes ( $F(1,28) = 29.56$ ,  $p < 0.000$ ) sont marquées par cette différence. Les analyses post-hoc faites à cause de la triple interaction sur le montage intermédiaire:  $F(6,168) = 4.01$ ,  $p < 0.016$ ,  $\epsilon = 0.409$ ) et de l'interaction figure x électrode sur le montage latéral:  $F(4,112) = 71.84$ ,  $p < 0.000$ ,  $\epsilon = 0.291$ ) ont révélé des différences sur toutes les électrodes dont O2 ( $F(1,28) = 27.51$ ,  $p < 0.000$ ) et O1 ( $F(1,28) = 28.09$ ,  $p < 0.000$ ) excepté T4, T3, P4 et P3.

À la N260, une double interaction (figures x électrodes,  $F(3,84) = 31.37$ ,  $p < 0.000$ ,  $\epsilon = 0.438$ ) sur les médianes a permis des analyses post-hoc qui ont montré une différence d'amplitude significative sur les électrodes Fcz, Pz et Fz (Fz:  $F(1,28) = 25.10$ ,  $p < 0.000$ ). Les analyses post-hoc des électrodes intermédiaires (triple interaction:  $F(6,168) = 4.74$ ,  $p < 0.005$ ,  $\epsilon = 0.477$ ) ont montré que toutes les électrodes sauf Fc4, Fc3, Cp4 et Cp3 avaient une différence significative (O2:  $F(1,28) = 47.94$ ,  $p < 0.000$ ). Le montage d'électrodes latérales a révélé un effet simple significatif ( $F(1,28) = 8.52$ ,  $p < 0.007$ ).

#### Objectif 1B: Comparaison des potentiels évoqués du triangle modal et du triangle gris

Les potentiels évoqués du triangle gris (voir page suivante) ressemblent beaucoup à ceux de la forme modale. La seule différence qui soit significative entre ces deux figures survient à la P320. Les tracés provenant des électrodes latérales ont une P320 de plus forte amplitude pour le triangle gris ( $F(1,28) = 5.02$ ,  $p < 0.033$ ). La double interaction dans le groupe intermédiaires (figures x électrodes,  $F(6,168) = 11.53$ ,  $p < 0.000$ ,  $\epsilon = 0.268$ ) a permis des analyses post-hoc qui ont décelé des effets significatifs sur les électrodes O2 ( $F(1,28) = 10.40$ ,  $p < 0.003$ ) et O1 ( $F(1,28) = 12.57$ ,  $p < 0.001$ ).

Figure 49

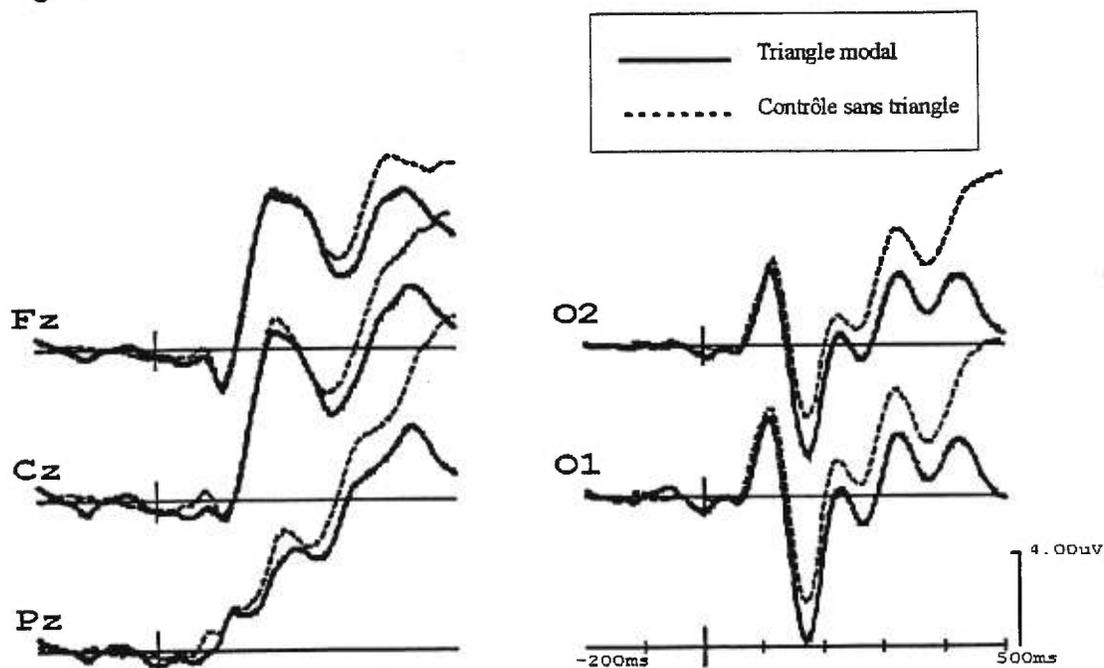


Objectif 2A: Comparaison des potentiels évoqués du triangle modal et du contrôle sans triangle

La N170 du contrôle sans triangle est de plus faible amplitude que celle du triangle modal (figure 50). Une double interaction aux intermédiaires (figures x électrodes,  $F(3,84) = 12.11$ ,  $p < 0.000$ ,  $\epsilon = 0.269$ ) et latérales ( $F(3,84) = 4.33$ ,  $p < 0.037$ ,  $\epsilon = 0.313$ ) ont permis de faire des analyses post-hoc qui ont révélé des différences significatives à O2 ( $F(1,28) = 14.47$ ,  $p < 0.001$ ), O1 ( $F(1,28) = 11.71$ ,  $p < 0.002$ ), P4 ( $F(1,28) = 7.02$ ,  $p < 0.013$ ) et T6 ( $F(1,28) = 6.59$ ,  $p < 0.016$ ). Aucune différence n'a été trouvée aux électrodes médianes.

À la P220, une interaction double a été trouvée aux électrodes intermédiaires. De ce montage, seules O2 ( $F(1,28) = 5.32$ ,  $p < 0.029$ ) et O1 ( $F(1,28) = 6.35$ ,  $p < 0.018$ ) affichent une amplitude plus positive pour les contrôles sans triangle.

Figure 50



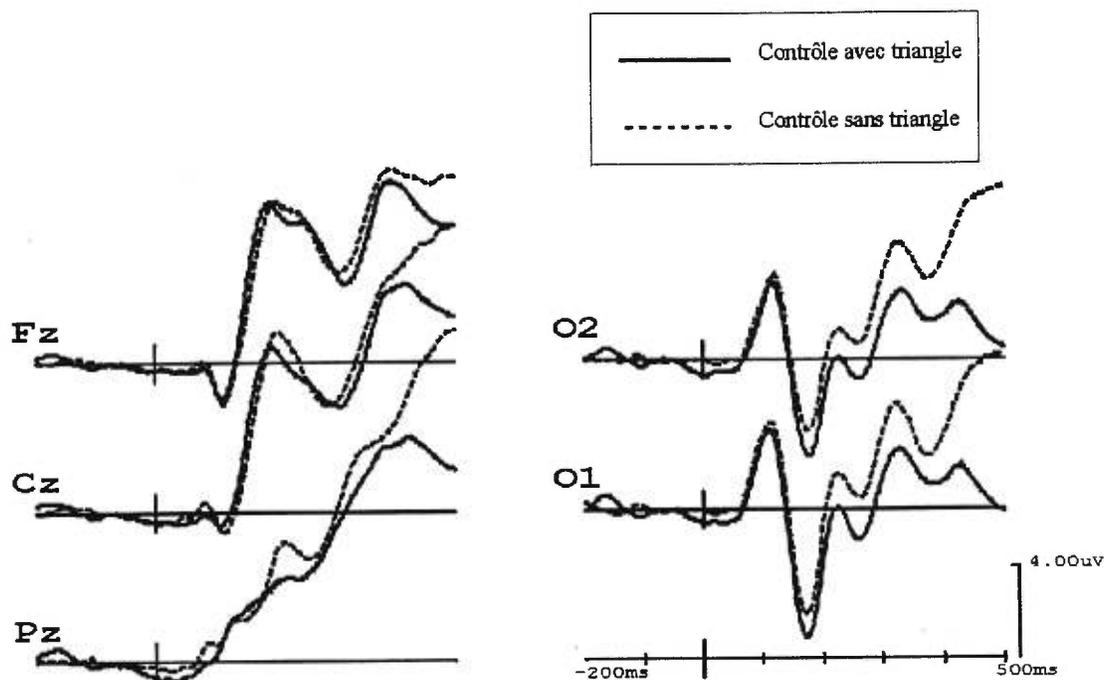
Les analyses post-hoc des électrodes intermédiaires (double interaction figures x électrodes:  $F(6,168) = 5.70$ ,  $p < 0.008$ ,  $\epsilon = 0.301$ ) et latérales (double interaction figures par électrodes:  $F(4,112) = 4.30$ ,  $p < 0.035$ ,  $\epsilon = 0.328$ ), ont permis de constater que l'amplitude de la N260 était plus positive pour le contrôle sans triangle que pour le triangle modal sur les électrodes P3, Tp7, T3, T5, O2 ( $F(1,28) = 6.77$ ,  $p < 0.015$ ) et O1 ( $F(1,28) = 10.02$ ,  $p = 0.004$ ).

#### Objectif 2B: Comparaison des potentiels évoqués par le contrôle avec triangle et du contrôle sans triangle

Seule la N170 a été analysée dans cette comparaison (figure 51). Les résultats démontrent que la N170 est plus positive pour le contrôle avec triangle que celle du contrôle sans triangle aux électrodes médianes ( $F(1,28) = 5.00$ ,  $p < 0.034$ ) ainsi que sur toutes les intermédiaires (double interaction figures x électrodes  $F(6,168) = 28.14$ ,  $p < 0.000$ ,

$\epsilon = 0.326$ ) , post hoc: O2:  $F(1,28) = 15.82$ ,  $p < 0.000$ ), O1:  $F(1,28) = 10.04$ ,  $p < 0.004$ ) excepté aux électrodes P4 et P3.

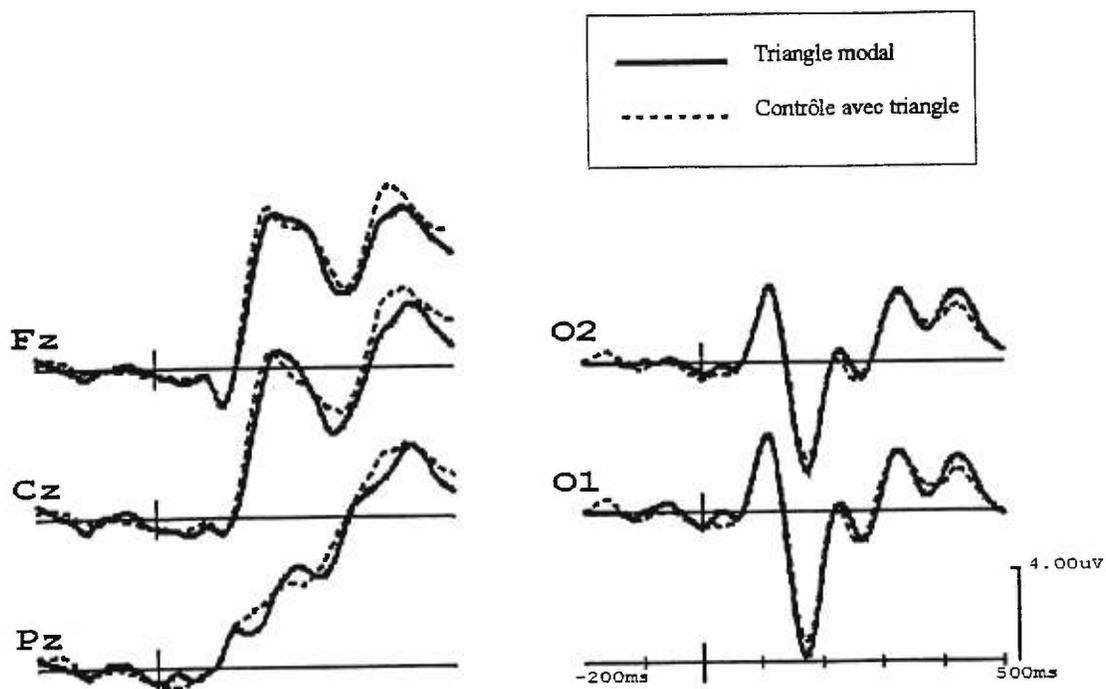
Figure 51



### Objectif 3: Comparaison des potentiels évoqués du triangle modal et du contrôle avec triangle

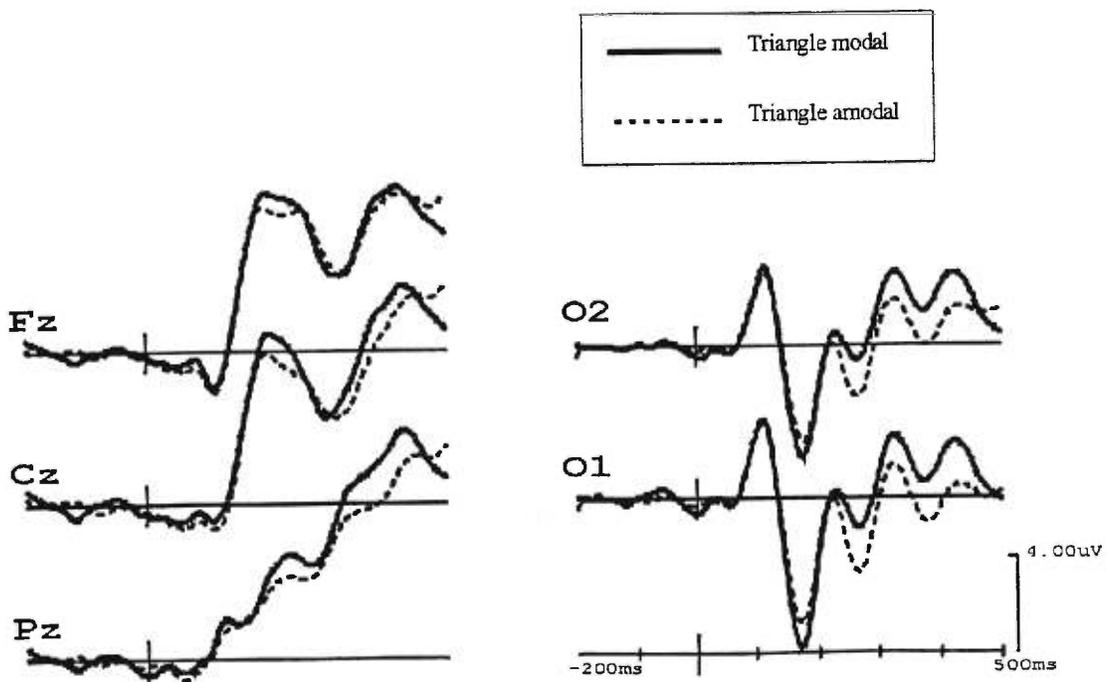
Il n'y a presque aucune différence entre les potentiels évoqués par le triangle modal et le contrôle avec triangle. Toutefois, bien que la différence soit en apparence petite, l'amplitude de la N170 du contrôle avec triangle est significativement plus petite que la N170 du triangle modal et ce, sur tous les groupes d'électrodes: médianes ( $F(1,28) = 6.00$ ,  $p < 0.021$ ), intermédiaires ( $F(1,28) = 8.15$ ,  $p < 0.008$ ) et latérales ( $F(1,28) = 16.17$ ,  $p < 0.000$ ). Il n'y a aucun effet d'interaction dans ces montages. Aucune autre déflexion n'affiche de différence d'amplitude entre ces deux figures.

Figure 52



Objectif 4: Comparaison des potentiels évoqués du triangle modal et amodal

Figure 53



Les comparaisons des potentiels évoqués du triangle modal et amodal ont révélé des différences d'amplitude aux déflexions P220 et N260. La P220 des figures modales est significativement plus ample que celle des figures amodales sur les électrodes médianes ( $F(1,28) = 5.44, p < 0.027$ ). Une interaction (figure x électrodes latérales) ( $F(4,112) = 4.69, p < 0.030, \epsilon = 0.313$ ) a permis de faire des analyses post-hoc qui ont montré des différences d'amplitude significatives sur les électrodes latérales T6 ( $F(1,28) = 5.16, p < 0.031$ ) et Tp8 ( $F(1,28) = 7.21, p < 0.012$ ).

À la N260, il y a une double interaction (figures x électrodes) aux niveaux du montage intermédiaire ( $F(6,168) = 7.86, p < 0.003, \epsilon = 0.252$ ) et du montage latéral ( $F(4,112) = 18.46, p < 0.000, \epsilon = 0.301$ ). Les analyses post-hoc ont montré une N260 plus négative pour les formes amodales aux électrodes T6, T5, F8, Ft7, P4, O2:  $F(1,28) = 11,37, p < 0.002$  et O1:  $F(1,28) = 12.32, p < 0.002$ .

Bien que l'amplitude de la N170 soit différente entre ces deux figures, ce résultat n'est pas statistiquement significatif.

## **INTERPRÉTATION**

## INTERPRÉTATION

Les premiers résultats concernent la session d'évaluation qui avait lieu avant l'expérience et où les sujets avaient à décider s'ils voyaient les effets illusoire de bordure, de profondeur et de luminance dans un triangle modal, un triangle amodal, un contour de triangle et un contrôle avec triangle. Ces résultats (tableau I, p.42) confirment les données de la littérature en montrant que le triangle modal induit un effet de luminance et de profondeur pour presque tous les sujets (93% et 86%). Les bordures illusoires étaient perceptibles pour 68% des sujets. Cette proportion de sujets ressemble beaucoup aux 70% obtenus par Bradley et Mates (1985). Comme prévu, le triangle amodal et le contrôle avec triangle n'induisent d'effets illusoires que chez très peu de sujets. Le nombre de sujets qui voient des bordures illusoires dans les triangles amodaux (32%) est toutefois plus élevé que prévu. Un autre résultat à souligner est l'effet de luminance dans la figure de contour de triangle. Il est induit chez un peu plus de la moitié des sujets (57%). Ceci confirme que l'effet de luminance est plus fort pour les formes modales (93%) que pour les formes faites d'un contour (Coren, 1969; Dresch et al., 1990; Dumais et Bradley, 1976).

Le premier objectif était d'explorer les différences entre les potentiels évoqués par le triangle modal et ceux du contour de triangle (objectif 1a) ou d'une surface de triangle gris (objectif 1b). Les résultats de la comparaison de l'objectif 1a ont démontré que la P220 du contour de triangle était beaucoup plus grande que celle du triangle modal. Cette différence, en se maintenant sur les déflexions qui suivent, contamine leur activité. Sans cette contamination, on peut considérer qu'il n'y a plus de différence d'activité aux déflexions qui surviennent après la P220. À quoi correspond cet effet sur la P220? Deux interprétations sont envisageables. D'abord, il est possible qu'une forme avec un contour fait de lignes entraîne un traitement différent d'une figure fait de bordures contrastées qui englobent une surface entière. La deuxième interprétation possible est que le contour de triangle soit le prototype de la représentation d'un triangle. Le sujet, lorsqu'il reçoit l'instruction de décider s'il voit

ou non une surface de triangle, se prépare à traiter un triangle. Le triangle qu'il s'imagine ressemble au contour de triangle. L'effet P220 serait alors simplement un effet de préparation du sujet. Cette interprétation est renforcée par les résultats en TR qui montrent que les sujets prennent moins de temps pour décider qu'il y a un triangle dans le contour de triangle que dans le triangle modal. Cette différence des TR ne se retrouve pas entre le triangle modal et le triangle gris bien que ce dernier soit, comme le contour de triangle, un triangle complet. L'effet P220 est donc sans doute lié à la tâche et n'aurait pas lieu si, par exemple, la tâche avait été de traiter une forme différente de celle du contour de triangle.

Les potentiels évoqués du triangle modal et du triangle gris sont superposables jusqu'à 270 ms. À partir de cette latence, l'amplitude de la P320 devient beaucoup plus positive pour le triangle gris que pour le triangle modal. Pour interpréter cet effet P320, il faut se rappeler Reynolds (1981) qui avait démontré que la présence d'indices de profondeur conflictuels (figure 34, p.23) inhibait les effets illusoire à partir de 300 ms après l'apparition de la figure. La plus grande P320 au triangle gris pourrait aussi être due à la présence d'un conflit d'indice de profondeur. En effet, avant 300 ms, le triangle a été traité comme étant la forme en avant-plan. En revanche, ce triangle est plus foncé que le fond alors qu'il devrait être, en apparence, plus clair comme c'est le cas pour le triangle modal. Ce conflit entre la luminance réelle et la position en avant-plan du triangle serait traité par des processus cognitifs indexés par la P320. Si cette interprétation s'avérait juste, alors un triangle blanc sur un fond gris, n'aurait probablement pas entraîné de différence à la P320.

Contrairement au contour de triangle, le triangle gris n'entraîne pas une plus grande P220 que le triangle modal. Cette absence de différence sur la P220 entre le triangle gris et le triangle modal pourrait s'expliquer par le fait que ces deux triangles représentent une surface détachée du fond. En effet, comme il en a été question plus haut, la P220 pourrait être liée à la définition du contour de la forme. Étant une représentation de triangle plus abstraite avec une définition de profondeur plus

ambiguë, le contour de triangle nécessiterait un traitement différent que celui d'une surface de triangle.

La comparaison entre les potentiels évoqués du triangle modal et ceux des triangles complets a démontré une similitude des déflexions du début du traitement des triangles. Ceci supporte l'idée que le traitement des formes modales est le même que celui des formes complètes. Plusieurs auteurs endossent d'ailleurs cette position en rappelant que les formes modales peuvent agir comme des formes complètes dans certaines situations comme les "after effects" ou les illusions géométriques (Beckett, 1989; Dresch, 1997; Gregory, 1972; Meyer et Garges, 1979; Smith et Over, 1975, 1977, 1979). Les figures 54 et 55 sont des figures dites d'illusion géométrique. Dans la figure 54, les deux parties de la ligne oblique paraissent désalignées alors que dans la figure 55, la ligne de gauche semble plus grande que celle de droite. Ces illusions sont généralement faites de bordures réelles mais comme le démontrent les figures 54 et 55, les bordures illusoires (suite à une complétion modale) peuvent remplacer les bordures réelles sans trop affecter l'illusion géométrique. Les bordures illusoires pourraient donc être activées par les mêmes processus que ceux des bordures réelles.

Figure 54

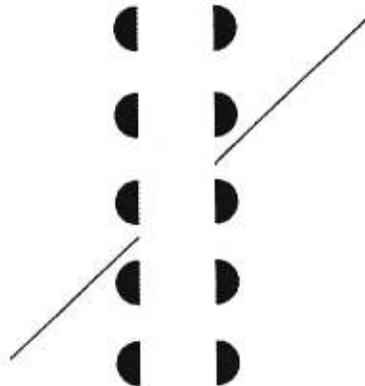
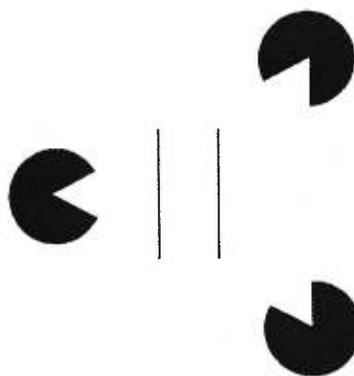


Figure 55



Le deuxième objectif était de trouver les corrélats électrophysiologiques du processus d'assemblage d'une forme globale. Pour y parvenir, les potentiels évoqués

du contrôle sans triangle ont été comparés aux potentiels évoqués de la forme modale (objectif 2a) et du contrôle avec triangle (objectif 2b).

La N170 est plus ample pour le triangle modal que pour le contrôle sans triangle ce qui confirme les résultats de Sugawara et Morotomi (1991), Tallon et al. (1995) et Herrmann et al. (1999). Cette différence sur la N170 ne permet toutefois pas de conclure que la N170 indexe l'assemblage étant donné que le contrôle sans triangle, en plus de ne pas être assemblé, n'est pas complété. Les résultats de l'objectifs 2b et 3 éclairent ce problème. Dans l'objectif 2b, la comparaison a été faite entre les potentiels évoqués des contrôles sans triangle et avec triangle. Contrairement au contrôle sans triangle, le contrôle avec triangle entraîne l'assemblage de certaines parties visibles des inducteurs. Cet assemblage permet alors de voir un triangle qui reste incomplet. La comparaison des potentiels évoqués des deux contrôles a démontré que la N170 du contrôle avec triangle était plus ample que celle du contrôle sans triangle. De plus, en observant les tracés, on peut constater que la N170 est plus ample pour les triangles complets que pour les deux contrôles. À priori, ces résultats suggèrent donc que la N170 reflète un processus d'assemblage car plus il y a d'information à assembler, plus la N170 est grande.

Toutefois, les résultats de l'objectif 3, i.e. la comparaison entre les potentiels évoqués du contrôle avec triangle et ceux du triangle modal, apportent une nuance à cette interprétation. En effet, la N170 du triangle modal est plus grande que celle du contrôle avec triangle. Toutefois, si la N170 indexe de l'assemblage, alors celle du triangle modal, aurait dû être de même amplitude que celle du contrôle avec triangle étant donné que ces deux figures présentent la même quantité de parties visibles (les inducteurs). Comme l'ont démontré les résultats de l'objectif 1a et b, la N170 du triangle modal a plutôt une amplitude égale à celle des triangles complets. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que le triangle modal est complété, i.e. qu'il entraîne la présence de bordures dans les endroits où il manque une partie de la forme. L'assemblage du triangle modal entraînerait donc une plus grande N170 que le contrôle avec triangle parce qu'en plus de l'assemblage des bordures visibles, il y

aurait assemblage des bordures complétées. L'intégration des bordures visibles et complétées permettrait ensuite d'avoir l'impression que le triangle est entier. Les résultats permettent donc de constater que la complétion se fait avant l'assemblage mais le moment précis n'est pas déterminé.

Les bordures complétées sont-elles les bordures illusoires de la complétion modale? L'objectif 4, qui consiste à trouver les corrélats électrophysiologiques des effets illusoires, répond à cette question en comparant les potentiels évoqués du triangle modal avec ceux du triangle amodal. Ce dernier entraîne de la complétion sans induire d'effet illusoire comme des bordures illusoires. Si les bordures qui permettent l'assemblage sont illusoires, alors une différence de potentiels évoqués devrait avoir lieu entre le triangle modal et amodal avant ou pendant la N170. Aucune différence de la sorte n'a été trouvée (bien que la N170 des formes modales ait tendance à être plus négative) démontrant ainsi que les bordures activées par la complétion ne sont pas illusoires (perceptibles). Elles doivent le devenir après l'assemblage du triangle, donc après 170 ms. Ces résultats soutiennent considérablement la possibilité que les complétions modale et amodale reposent sur les mêmes processus comme le soutiennent Kellman et Shipley (1998, 1992, 1991).

La comparaison des potentiels évoqués du triangle modal et amodal montrent que la P220 du triangle amodal est plus petite sur les électrodes médianes et que la N260 est plus grande sur les électrodes occipitales et temporales. Il est possible que ces deux déflexions soit liées à la ségrégation figure-fond. Une fois complété le triangle devrait se détacher du fond. Néanmoins, le triangle modal paraît en arrière-plan. Il est alors possible que l'effet sur la P220 et la N260 reflètent des processus qui réinterprètent le niveau de profondeur de la figure et qui entraînent une inversion figure-fond si cela est nécessaire comme c'est le cas pour le triangle amodal. Landis et al. (1984) ont démontré une différence de potentiels évoqués dans la fenêtre 224-256 ms entre une situation où il y avait inversion figure-fond et une autre situation où il n'y en avait pas. Les TR sont plus longs pour décider qu'il y a une surface de triangle dans le triangle amodal que dans le triangle modal. Cette différence des TR

est peut-être due à l'implication de ces processus qui entraînent l'inversion figure-fond.

Étant donné que la P220 et N260 du triangle modal sont sensiblement semblables à celles des autres figures (qui, comme le triangle amodal, n'induisent pas d'effets illusoires), il est impossible de considérer que ces déflexions soient liés à l'induction des effets illusoires.

L'ensemble des résultats de l'étude suggère donc: 1) que la complétion a lieu avant l'assemblage de la forme globale; 2) que la N170 indexe l'assemblage de la forme globale; 3) que l'inversion figure-fond se fait à la déflexion P220 et 4) que l'interprétation des indices de profondeur se fait à la P320. Bien que les résultats obtenus n'aient pas permis de trouver les corrélats électrophysiologiques des effets illusoires (objectif 4), il est possible de considérer qu'ils sont induits après l'assemblage de la forme, donc après 170 ms.

## **BIBLIOGRAPHIE**

<b>BIBLIOGRAPHIE</b>
----------------------

- Bach, M., et Meigen, T. (1997). Similar electrophysiological correlates of texture segregation induced by luminance, orientation, motion and stereo. Vision Research, 37, 1409-1414.
- Bach, M., et Meigen, T. (1992). Electrophysiological correlates of texture segregation in the human visual evoked potential. Vision Research, 32, 417-424.
- Banton, T. et Levi, D. M. (1992). The perceived strength of illusory contours. Perception and Psychophysics, 52(6), 676-684.
- Baylis, G. C., Rolls, E. T. et Leonard, C. M. (1987). Functional subdivisions of the temporal lobe neocortex. Journal of Neuroscience, 7(2), 330-342.
- Baylis, G. C., Rolls, E. T. et Leonard, C. M. (1985). Selectivity between faces in the responses of a population of neurons in the cortex in the superior temporal sulcus of the monkey. Brain Research, 342, 91-102.
- Beckett, P. A. (1989). Illusion decrement and transfer of illusion decrement in real- and subjective-contour Poggendorff figures. Perception and Psychophysics, 45(6), 550-556.
- Bonaiuto, P., Giannini, A. M. et Bonaiuto, M. (1991). Visual illusory productions with or without amodal completion. Perception, 20, 243-257.
- Bradley, D. R. et Mates, S. M. (1985). Perceptual organization and apparent brightness in subjective contour figures. Perception, 14, 645-653.
- Bradley, D. R. et Dumais, S. T. (1984). The effects of illumination level and retinal size on the depth stratification of subjective contour figures. Perception, 13, 155-164.
- Bradley, D. R. et Dumais, S. T. (1975). Ambiguous cognitive contours. Nature, 257, 582-584.
- Brigner, W. L. et Gallagher, M. B. (1974). Subjective contour: apparent depth or simultaneous brightness contrast?. Perceptual and Motor Skills, 38, 1047-1053.
- Brussell, E. M., Stober, S. R. et Bodinger, D. M. (1977). Sensory information and subjective contour. American Journal of Psychology, 90, 145-156.

- Buffart, H., Leeuwenberg, E. et Restle, F. (1981). Coding theory of visual pattern completion. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 7(2), 241-274.
- Caputo, G., Romani, A., Callieco, R., Gaspari, D. et Cosi, V. (1999). Amodal completion in texture visual evoked potentials. Vision Research, 39, 31-38.
- Caputo, G. (1998). Texture brightness filling-in. Vision Research, 38, 841-851.
- Caputo, G. (1996). The role of the background: texture segregation and figure-ground segmentation. Vision Research, 36, 2815-2826.
- Coren, S., Porac, C. et Theodor, L. H. (1987). Set and subjective contour. In S. Petry et G. E. Meyer (Eds). The perception of illusory contours, (pp.237-245). New York/Berlin: Springer-Verlag.
- Coren, S., Porac, C. et Theodor, L. H. (1986). The effects of perceptual set on the shape and apparent depth of subjective contours. Perception and Psychophysics, 39(5), 327-333.
- Coren, S. et Porac, C. (1983). Subjective contours and apparent depth: a direct test. Perception and Psychophysics, 33(2), 197-200.
- Coren, S. et Theodor, L. H. (1975). Subjective contour: the inadequacy of brightness contrast as an explanation. Bulletin of the Psychonomic Society, 6(1), 87-89.
- Coren, S. (1973). The effect of texture on the magnitude of simultaneous brightness contrast. Perception and Psychophysics, 14(2), 277-279.
- Coren, S. (1972). Subjective contours and apparent depth. Psychological Review, 79(4), 359-367.
- Coren, S. (1969). Brightness contrast as a function of figure-ground relations. Journal of Experimental Psychology, 80, 517-524.
- Davis, G. et Driver, J. (1998). Kanizsa subjective figures can act as occluding surfaces at parallel stages of visual search. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24(1), 169-184.
- Davis, G. et Driver, J. (1994). Parallel detection of Kanizsa subjective figures in the human visual system. Nature, 371, 791-793.
- Day, R. H. et Kasperczyk, R. T. (1983). Amodal completion as a basis for illusory contours. Perception and Psychophysics, 33(4), 355-364.

- Day, R. H. et Jory, M. K. (1980). A note on a second stage in the formation of illusory contours. Perception and Psychophysics, 27(?), 89-91.
- Day, R. H. et Jory, M. K. (1978). Subjective contours, visual acuity, and line contrast. In J. C. Armington, J. E. Krauskopf et B. Wooten (Eds), Visual psychophysics and physiology (pp. 331-349). New York: Academic Press.
- Desimone, R., Albright, T. D., Gross, C. G. et Bruce, C. (1984). Stimulus-selective properties of inferior temporal neurons in the macaque. Journal of Neuroscience, 4(8), 2051-2062.
- Dresp, B. (1997). On "illusory" contours and their functional significance. Cahiers de Psychologie Cognitive, 16(4), 489-518.
- Dresp, B. (1993). The Kanizsa square does not engender a configural superiority effect. Bulletin of Psychonomic Society, 31(3), 183-184.
- Dresp, B. et Bonnet, C. (1993). Psychophysical measures of illusory form perception: further evidence for local mechanisms. Vision Research, 33(5/6), 759-766.
- Dresp, B. et Bonnet, C. (1991). Psychophysical evidence for low level processing of illusory contours and surfaces in Kanizsa square. Vision Research, 31, 1813-1817.
- Dresp, B., Lorenceau, J. et Bonnet, C. (1990). Apparent brightness enhancement in the Kanizsa square with and without illusory contour formation. Perception, 19, 483-489.
- Dumais, S. T. et Bradley, D. R. (1976). The effects of illumination level and retinal size on the apparent strength of the subjective contours. Perception and Psychophysics, 19(4), 339-345.
- Fahle, M. et Kock, C. (1995). Spatial displacement, but not temporal asynchrony, destroys figural binding. Vision Research, 35, 491-494.
- Field, D. J., Hayes, A. et Hess, R. F. (1993). Contour integration by the human visual system: evidence for a local "association field". Vision Research, 33(2), 173-193.
- Frisby, J. P. et Claywothy, J. L. (1975). Illusory contours: curious cases of simultaneous brightness contrast?. Perception, 4, 349-357.

- Gellatly, A. R. H. (1980). Perception of an illusory triangle with masked inducing figure. Perception, 9, 599-602.
- Gerbino, W. (1987). Traduction de G. Kanizsa (1955): Quasi-perceptual margins in homogeneously stimulated fields. In S. Petry et G. E. Meyer (Eds). The perception of illusory contours, (pp.40-49). New York/Berlin: Springer-Verlag.
- Gilbert, C. D. et Wiesel, T. N (1979). Morphology and intracortical projections of fonctionnally characterised neurons in the cat visual cortex. Nature, 280, 120-125.
- Gregory, R. L. (1977). Vision with isoluminant colour contrast: 1. A projection technique and observations. Perception, 6, 113-119.
- Gregory, R. L. et Harris, J. P. (1974). Illusory contours and stereo depth. Perception and Psychophysics, 15, 411-416.
- Gregory, R. L. (1972). Cognitive contours. Nature, 238, 51-52.
- Grosovsky, D. H., Shapley, R. M. et Hawken, M. J. (1993). Macaque V1 neurons can signal 'illusory' contours. Nature, 365, 550-552.
- Gross, C. G., Rocha-Miranda, C. E. et Bender, D. B. (1972). Visual properties of neurons in inferotemporal cortex of the macaque. Journal of Neurophysiology, 35, 96-111.
- Halpern, D. F. (1981). The determinants of illusory-contour perception. Perception, 10, 199-213.
- He, Z. J. et Ooi, T. L. (1998). Illusory-contour formation affected by luminance contrast polarity. Perception, 27, 313-335.
- Herrmann, C. S., Mecklinger, A. et Pfeifer, E. (1999). Gamma responses and ERPs in a visual classification task. Clinical Neurophysiology, 110, 636-642.
- Hirsch, J., de la Paz, R. L., Relkin, N. R., Victor, J., Kim, K., Li, T., Borden, P., Rubin, N. et Shapley, R. (1995). Illusory contours activate specific regions in human visual cortex: evidence from functional magnetic resonance imaging. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 92(14), 6469-6473.

- Hogg, A. (1987). Traduction de W. Ehrenstein (1941): Modifications of the brightness phenomenon of L. Hermann. In S. Petry et G. E. Meyer (Eds). The perception of illusory contours, (pp.35-39). New York/Berlin: Springer-Verlag.
- Hogg, A. (1987). Traduction de F. Schumann (1904): Contributions to the analysis of visual perception – First paper: some observations on the combination of visual impressions into units. In S. Petry et G. E. Meyer (Eds). The perception of illusory contours, (pp.21-33). New York/Berlin: Springer-Verlag.
- Jory, M. K. et Day, R. H. (1979). The relationship between brightness contrast and illusory contours. Perception, 8, 3-9.
- Julesz, B. (1965). Texture and visual perception. Scientific American, 212, 38-48.
- Kanizsa, G. (1976). Subjective contours. Scientific American, 234(4), 48-53.
- Kanizsa, G. (1974). Contours without gradients or cognitive contours?. Italian Journal of Psychology, 1, 107-123.
- Kellman, P. J. et Shipley, T. F. (1998). A common mechanism for illusory and occluded object completion. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24(3), 859-869.
- Kellman, P. J. et Shipley, T. F. (1992). Perceiving objects across gaps in space and time. Current Directions in Psychological Science, 1(6), 193-199.
- Kellman, P. J. et Shipley, T. F. (1991). A theory of visual interpolation in object perception. Cognitive Psychology, 23, 141-221.
- Kennedy, J. M. (1981). Illusory brightness and the ends of petals: change in brightness without the aid of stratification or assimilation effects. Perception, 10, 583-585.
- Kennedy, J. M. (1978). Illusory contours not due to completion. Perception, 7, 605-607.
- Kennedy, J. M. (1976a). Sun figure: an illusory diffuse contour resulting from an arrangement of dots. Perception, 5, 479-481.
- Kennedy, J. M. (1976b). Attention, brightness, and the constructive eye. In M. Henle (Eds), Vision and artifact. New York: Springer.

- Kennedy, J. M. (1975). Depth of an edge, coplanarity, slant depth, change in direction and change in brightness in the production of subjective contours. Italian Journal of Psychology, 2, 107-123.
- Knierim, J. J. et van Essen, D. C. (1992). Neuronal responses to static texture patterns in area V1 of the alert macaque monkey, Journal of Neurophysiology, 67(4), 961-980.
- Kobatake, E., Wang, G. et Tanaka, K. (1998). Effects of shape-discrimination training on the selectivity of inferotemporal cells in adult monkeys. Journal of Neurophysiology, 80, 324-330.
- Kojo, I., Liinasuo, M., et Rovamo, J. (1993). Spatial and temporal properties of illusory figures. Vision Research, 33, 897-901.
- Kosslyn, S. M., Thompson, W. L., Kim, I. J. et Alpert, N. M. (1995). Topographical representations of mental images in primary visual cortex. Nature, 378, 496-498.
- Kovacs, G., Vogels, R. et Orban, G. A. (1995). Selectivity of macaque inferior temporal neurons for partially occluded shapes. Journal of Neuroscience, 15(3), 1984-1997.
- Kovacs, I. (1996). Gestalten of today: early processing of visual contours and surfaces. Behavioural Brain Research, 82, 1-11.
- Lamme, V. A. F. (1995). The neurophysiology of figure-ground segregation in primary visual cortex. Journal of Neuroscience, 15(2), 1605-1615.
- Lamme, V. A. F., Van Dijk, B. W. et Spekreijse, H. (1992). Texture segregation is processed by primary visual cortex in man and monkey: evidence from VEP experiments. Vision Research, 32, 797-807.
- Landis, T., Lehmann, D., Mita, T. et Skrandies, W. (1984). Evoked potential correlates of figure and ground. International Journal of Psychophysiology, 1, 345-348.
- Lawson, R. B., Cowan, E., Gibbs, T. D. et Whitmore, C. G. (1974). Stereoscopic enhancement and erasure of subjective contours. Journal of Experimental Psychology, 103(6), 1142-1146.
- Lawson, R. B. et Gulick, W. L. (1967). Stereopsis and anomalous contour. Vision Research, 7, 271-297.

- Lehrer, M. et Srinivasan, M. V. (1994). Active vision in honeybees: task-oriented suppression of an innate behaviour. Vision Research, 34, 511-516.
- Leonard, C. M., Rolls, E. T., Wilson, F. A. W. et Baylis, G. C (1985). Neurons in the amygdala of the monkey with responses selective for faces. Behavioural Brain Research, 15, 159-176.
- Levitt, J. B. et Lund, J. S. (1997). Contrast dependance of contextual effects in primate visual cortex. Nature, 387, 73-76.
- Li, C.-Y., Guo, K. (1995). Measurements of geometric illusions, illusory contours and stereo-depth at luminance and colour contrast. Vision Research, 35, 1713-1720.
- Logothetis, N. K., Pauls, J. et Poggio, T. (1995). Shape representation in the inferior temporal cortex of monkey. Current Biology, 5, 552-563.
- Macknik, S. L. et Livingstone, M. S. (1998). Neuronal correlates of visibility and invisibility in the primate visual system. Nature Neuroscience, 1(2), 144-149.
- Mason, C. et Kandel, E. R. (1991). Central visual pathways. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz et T. M. Jessell (Eds). Principles of neural science, (pp.420-439), Appleton & Lange.
- Meyer, G. E. et Ming, C. Y. (1988). The visible persistence of illusory contours. Canadian Journal of Psychology, 42(4), 479-488.
- Meyer, G. E. et Garges, C. (1979). Subjective contours and the Poggendorff illusion. Perception and Psychophysics, 26(4), 302-304.
- Michotte, A. et Burke, L. (1951). Une nouvelle énigme de la psychologie de la perception: Le "donnée amodale" dans l'expérience sensorielle. Actes du 13ème Congrès International de Psychologie, 3, 105-120.
- Miyashita, Y. (1993). Inferior temporal cortex: where visual perception meets memory. Annual Review Neuroscience, 16, 245-263.
- Palva, M., Heslenfeldt, D., Aronen, H. J. et Ilmoniemi, R. J. (1997). Early visual processing of illusory and real contours studied with fMRI. International Journal of Psychophysiology, 25, 52 (Abstract).
- Parks, T. E. (1997). Banishing illusory contours: a new possibility. Perception, 26, 753-754.

- Parks, T. E. (1996). Prior experience of form and illusory figures: new demonstrations. *Perception*, 25, 353-354.
- Parks, T. E. (1995). The microgenesis of illusory figures: evidence for visual hypothesis testing. *Perception*, 24, 681-684.
- Parks, T. E. (1994). On the microgenesis of illusory figures: a failure to replicate. *Perception*, 23, 857-862.
- Parks, T. E. (1993). The effect of extraneous elements surrounding a Kanizsa-like illusory-figure pattern. *Perception*, 22, 1093-1097.
- Parks, T. E. (1990). Outlined elements, regular elements and coincidences in illusory-figure patterns. *Perception*, 19, 691-694.
- Parks, T. E. et Rock, I. (1990). Illusory contours from pictorially three-dimensional inducing elements. *Perception*, 19, 119-121.
- Parks, T. E. (1985). Apparent depth and texture differences in illusory figure patterns: a paradox resolved. *Perception and Psychophysics*, 37, 568-570
- Parks, T. E. et Marks, W. (1985). Illusory figures: individual differences in apparent depth and lightness. *Perception and Psychophysics*, 37(6), 529-532.
- Parks, T. E. (1984). Illusory figures: a mostly atheoretical review. *Psychological Bulletin*, 95(2), 282-300.
- Parks, T. E. et Marks, W. (1983). Sharp-edged vs diffuse illusory circles: the effects of varying luminance. *Perception and Psychophysics*, 33(2), 172-176.
- Parks, T. E. (1980). Subjective figures: some unusual concomitant brightness effects. *Perception*, 9, 239-241.
- Perrett, D. I., Rolls, E. T. et Caan, W. (1982). Visual neurons responsive to faces in the monkey temporal cortex. *Experimental Brain Research*, 47, 329-342.
- Peterhans, E. et von der Heydt, R. (1989). Mechanisms of contour perception in monkey visual cortex. II: Contours bridging gaps. *Journal of Neuroscience*, 9(5), 1749-1763.
- Petry, S. et Meyer, G. E. (1987). *The perception of illusory contours*, New York/Berlin: Springer-Verlag.

- Petry, S., Harbeck, A., Conway, J. et Levey, J. (1983). Stimulus determinants of brightness and distinctness of subjective contours. Perception and Psychophysics, 34(2), 169-174.
- Polat, U. et Sagi, D. (1994). The architecture of perceptual spatial interactions. Vision Research, 34, 73-78.
- Polat, U. et Sagi, D. (1993). Lateral interaction between spatial channels: suppression and facilitation revealed by lateral masking experiments. Vision Research, 33, 993-999.
- Porac, C. (1978). Depth in objective and subjective contour patterns. Bulletin of Psychonomic Society, 11, 103-105.
- Prazdny, K. (1986). Illusory contours from inducers defined solely by spatiotemporal correlation. Perception and Psychophysics, 39(3), 175-178.
- Prazdny, K. (1983). Illusory contours are not caused by simultaneous brightness contrast. Perception and Psychophysics, 34(4), 403-404.
- Predebon, J. (1985). Illusory contours and size illusions. Bulletin of the Psychonomic Society, 23(1), 47-49.
- Pritchard, W. S. et Warm, J. S. (1983). Attentional processing and the subjective contour illusion. Journal of Experimental Psychology: General, 112(2), 145-175.
- Purghé, F. et Coren, S. (1992a). Amodal completion, depth stratification, and illusory figures: a test of Kanizsa explanation. Perception, 21, 325-335.
- Purghé, F. et Coren, S. (1992b). Subjective contours 1900-1990: research trends and bibliography. Perception and Psychophysics, 51(3), 291-304.
- Purghé, F. (1991). Is amodal completion necessary for the formation of illusory figures?. Perception, 20, 623-636.
- Purghé, F. et Katsaras, P. (1991). Figural conditions affecting the formation of anomalous surfaces: overall configuration versus single stimulus part. Perception, 20, 193-206.
- Reid, R. C. et Alonso, J. M. (1996). The processing and encoding of information in the visual cortex. Current Opinion in Neurobiology, 6(4), 475-480.
- Reynolds, R. I. (1981). Perception of an illusory contour as a function of processing time. Perception, 10, 107-115.

- Ringach, D. L., & Shapley, R. (1996). Spatial and temporal properties of illusory contours and amodal boundary completion. Vision Research, 36(19), 3037-3050.
- Rock, I. et Anson, R. (1979). Illusory contours as the solution to a problem. Perception, 8, 665-681.
- Rockland, K. S. et Lund, J. S. (1983). Intrinsic laminar lattice connections in primate visual cortex. Journal of Comparative Neurology, 216, 303-318.
- Rockland, K. S. et Lund, J. S. (1982). Widespread periodic intrinsic connections in the tree shrew visual cortex. Science, 214, 1532-1534.
- Rolls, E. T. (1984). Neurons in the cortex of the temporal lobe and in the amygdala of the monkey with responses selective for faces. Human Neurobiology, 3, 209-222.
- Romani, A., Caputo, G., Callieco, R., Schintone, E. et Cosi, V. (1999). Edge detection and surface 'filling in' as shown by texture visual evoked potentials. Clinical Neurophysiology. 110(1), 86-91.
- Schalaidhe, S. P. O., Wilson, F. A. W. et Goldman-Rakic, P. S. (1997). A real segregation of face-processing neurons in prefrontal cortex. Science, 278, 1135-1138.
- Sekuler, A. B. (1994). Local and global minima in visual completion: effects of symmetry and orientation. Perception, 23, 529-545.
- Sekuler, A. B., Palmer, S. E. et Flynn, C. (1994). Local and global processes in visual completion. Psychological Science, 5(5), 260-267.
- Sekuler, A. B., & Palmer, S. E. (1992) Perception of partly occluded objects: A microgenetic analysis. Journal of Experimental Psychology: General, 121(1), 95-111.
- Sereno, M. I., Dale, A. M., Reppas, J. B., Kwong, K. K., Belliveau, J. W., Brady, T. J., Rosen, B. R. et Tootell, R. B. H. (1995). Borders of multiple visual areas in humans revealed by functional magnetic resonance imaging. Science, 268, 889-892.

- Shipley, T. F. et Kellman, P. J. (1992a). Perception of partly occluded objects and illusory figures: evidence for an identity hypothesis. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 18(1), 106-120.
- Shipley, T. F. et Kellman, P. J. (1992b). Strength of visual interpolation depends on the ratio of physically specified to total edge length. Perception and Psychophysics, 52(1), 97-106.
- Smith, A. T. et Over, R. (1979). Motion aftereffect with subjective contours. Perception and Psychophysics, 25, 95-98.
- Smith, A. T. et Over, R. (1977). Orientation masking and the tilt illusion with subjective contours. Perception, 6, 441-447.
- Smith, A. T. et Over, R. (1975). Tilt aftereffects with subjective contours. Nature, 257, 581-582.
- Spillmann, L. et Werner, J. S. (1996). Long-range interactions in visual perception. Trends in Neurosciences, 19, 428-434.
- Spillmann, L. et Dresch, B. (1995). Phenomena of illusory form: can we bridge the gap between levels of explanation?. Perception, 24, 1333-1364.
- Sugawara, M. et Morotomi, T. (1991). Visual evoked potentials elicited by subjective contour figures. Scandinavian Journal of Psychology, 32, 352-357.
- Tallon, C., Bertrand, O., Bouchet, P. et Pernier, J. (1995). Gamma-range activity evoked by coherent visual stimuli in humans. European Journal of Neuroscience, 7, 1285-1291.
- Tanaka, K. (1996). Inferotemporal cortex and object vision. Annual Review of Neurosciences, 19, 109-139.
- Tanaka, K., Saito, H.-A., Fukada, Y. et Moriya, M. (1991). Coding visual images of objects in the inferotemporal cortex of the macaque monkey. Journal of Neurophysiology, 66(1), 170-189.
- von der Heydt, R. et Peterhans, E. (1989). Mechanisms of contour perception in monkey visual cortex. I: Lines of pattern discontinuity. Journal of Neuroscience, 9(5), 1731-1748.
- von der Heydt, R., Peterhans, E. et Baumgartner, G. (1984). Illusory contours and cortical neuron responses. Science, 224, 1260-1262.

- Wallach, H. et Slaughter, V. (1988). The role of memory in perceiving subjective contours. Perception and Psychophysics, 43, 101-106.
- Wallis, G. et Rolls, E. T. (1997). Invariant face and object recognition in the visual system. Progress in Neurobiology, 51, 167-194.
- Ware, C. (1981). Subjective contours independent of subjective brightness. Perception and Psychophysics, 29(5), 500-504.
- Ware, C. et Kennedy, J. M. (1977). Illusory line linking solid rods. Perception, 6, 601-602.
- Warm, J. S., Dember, W. N., Padich, R. A., Beckner, J. et Jones, S. (1987). The role of illumination level in the strength of subjective contours. In S. Petry et G. E. Meyer (Eds). The perception of illusory contours, (pp.). New York/Berlin: Springer-Verlag.
- Watanabe, T. et Oyama, T. (1988). Are illusory contours a cause or a consequence of apparent differences in brightness and depth in the Kanizsa square?. Perception, 17, 513-521.
- Whitmore, C. L. G., Lawson, R. B. et Kozora, C. E. (1976). Subjective contours in stereoscopic space. Perception and Psychophysics, 19(2), 211-213.
- Wilson, F. A. W., Schallidhe, S. P. O et Goldman-Rakic, P. S. (1993). Dissociation of object and spatial processing domains in primate prefrontal cortex. Science, 260, 1955-1958.
- Yamane, S., Kaji, S. et Kawano, K. (1988). What facial features activate face neurons in the inferotemporal cortex of the monkey?. Experimental Brain Research, 73, 209-214.
- Young, M. P. et Yamane, S. (1992). Sparse population coding of faces in the inferotemporal cortex. Science, 256, 1327-1330.
- Zeki, S. (1990). La construction des images par le cerveau. La Recherche, 21(222), 712-721.
- Zipser, K., Lamme, V. A. F. et Schiller, P. H. (1996). Contextual modulation in primary visual cortex. Journal of Neuroscience, 16(22), 7376-7389.